UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Proyecto de diseño del bastidor de una motocicleta de competición.

Alumno: Cristian Rosiña Lopez
Tutora: Montserrat Sánchez Romero
Cotutor: Daniel Alcalá Vergara
Departamento de resistencia de materiales
EET a mayo de 2016

Índice:

Agradecimientos: 9
1. Objetivos del proyecto: 10
1.1 Objeto: 10
1.2 Alcance: 10
1.3 Justificación: 10
1.4 Antecedentes: 11
1.4.1 MotoStudent: 11
1.4.2 MotoSpirit: 12
2. Estado del arte: 15
2.1. Definición de bastidor: 15
2.1.1-Diferencia entre bastidor y chasis: 16
2.2. Tipos de principales chasis de motocicleta actuales: 17
2.2.1-Según su integridad estructural: 17
2.2.2-Según su tipo de estructura: 18
2.3. Historia y evolución del bastidor y chasis de motocicleta: 21
2.3.1. Historia de la moto eléctrica: 25
2.4- Estudio de mercado actual: 27
2.4.1-Prototipo Armstrong: 28
2.4.2-Proyecto Britten: 28
2.4.3-Prototipo Ducati e inmotec: 29
2.4.4-Modelo Empulse RR: 30
2.4.5-Proyecto E1pc 2012: 30
2.4.6-Proyecto Mugen Shinden San: 31
2.4.7-Modelo Mission R: 32
2.5. Precedente MotoSpirit I. 32
3.0-Diseño: 34
3.1-Datos de partida: 34
3.2-Geometría y parámetros de diseño: 35
3.2.1-Distancia entre ejes: 36
3.2.2-Avance: 36

3.2.3-Excentricidad de horquilla: 37
3.2.4-Angulo de dirección: 37
3.2.5-Centro de gravedad: 37
3.2.6-Angulo del basculante: 38
3.2.7-Longitud del basculante: 39
3.2.8-Analisis del squat. 39
3.2.9-Rigidez del chasis: 43
3.3-Dimensionamiento: 44
3.4-Proceso de diseño: 46
3.4.1- Diseños actuales: 46
3.4.2-Propuesta de diseño innovador: 47
3.4.3- 1r Diseño: 47
3.4.4- 2º Diseño: 48
3.4.5- 3r Diseño: 49
3.5-Diseño Final: 51
3.5.1-Pipa de dirección: 53
3.5.2-Estructuras laterales tubulares: 56
3.5.3-Soportes motor: 59
4.0-Modelización y cálculos: 62
4.1-Evaluación de triangulación de barras: 63
4.2-Paso por curva: 64
4.2.1-Calculos de paso por curva: 65
4.2.2-Simulación de paso por curva: 66
4.3-Frenada máxima: 68
4.3.1-Calculos de frenada máxima: 68
4.3.2-Simulación de frenada máxima: 69
4.4-Evaluación de tensiones en la pipa de dirección: 71
5.0-Ensayos experimentales: 73
5.1-Ensayo a tracción: 73
6.0-Fabricación: 78
6.1-Utillaje: 79
6.1.1-Proceso de fabricación: 80
6.1.2-Medidas generales: 82

6.2-Estructura tubular: 84
6.2.1-Preparación previa 84
6.2.2-Laminación: 84
6.3-Pipa de dirección: 87
6.4-Conjunto soporte motor: 88
7.0-Presupuesto: 89
8.0-Pliego de condiciones: 90
8.1 Medidas Generales: 90
8.2 Vida útil 91
8.3 Presupuesto 91
8.4 Especificación de elementos 91
8.4.1 Elementos fabricados 91
8.4.2 Componentes comprados 91
8.5 Transporte 91
8.6 Materiales 92
8.7 Condiciones de montaje 92
8.8 Advertencias de seguridad 92
9.0-Impacto medioambiental: 92
9.1-Fase de diseño 92
9.2-Evaluación ambiental para piezas de fibra de carbono 93
9.3-Fase de construcción 94
9.3.1-Minimizado de residuos 94
9.3.2-Tratamiento de los residuos 95
9.4 Fase de explotación 96
9.5 Fase de desmantelamiento 96
10.0-Conclusiones: 97
11.0-Líneas futuras: 98
12.0-Bibliografía: 99
12.1-Webliografía: 99
12.2-Libros: 99
13.0-Anexos: 100
13.1-Información motor Heinzmann: 100
13.2-Información neumáticos Dunlop: 101

13.3-Información frenos J. JUAN:.....102
13.5-Información llantas Marchesini: 103

Índice de ilustraciones:

Ilustración 1: Logo MotoSpirit I 12
Ilustración 2: Logo MotoSpirit II 13
Ilustración 3 : Logo ESEIAAT y Inspire[3] 13
Ilustración 4: Esquema de organización del equipo 14
Ilustración 5 : Partes de una motocicleta (Mejorar foto) 15
Ilustración 6: Chasis Motocicleta 16
Ilustración 7: Bastidor Motocicleta 16
Ilustración 8:Chasis portante 17
Ilustración 9.Chasis auto-portante 17
Ilustración 10: Chasis simple cuna Bultaco metralla 18
Ilustración 11:Chasis doble cuna Triumph 1962 19
Ilustración 12:Derbi GP 125 de competición 19
Ilustración 13: Chasís monocasco Vespa 20
Ilustración 14:Chasís Monocasco Kawasaki ZZR 1400 20
Ilustración 15: Primer vehículo con motor de gasolina (réplica de la Reitwagen, 1884) 21
Ilustración 16: Evolución histórica de chasis (Arias-Paz, 1994) 24
Ilustración 17: Diseños de la bicicleta eléctrica de O. Bolton, Jr. Patente del 31de diciembre de 1895 25
Ilustración 18: Diseño de la bicicleta eléctrica de Hosea W. Libbey. Patente número 596272 de diciembre 28 de 1897 20 26
Ilustración 19: Prototipo de chasis de competición de carbono 28
Ilustración 20: Prototipo de competición Britten 29
Ilustración 21:Prototipo de competición Ducati Desmosedici 29
Ilustración 22:Victory 30
Ilustración 23: Modelo E1PC ganador de TT Zero 2012 31
Ilustración 24: Modelo Mugen Shinden San ganadora de TT Zero 2015 31
Ilustración 25: Modelo de la Mission R ganadora de TTXGP 2011 32
Ilustración 26: Prototipo MotoSpirit I 33
Ilustración 27:Bastidor prototipo MotoSpirit I 33
Ilustración 28:Parametros de diseño de una motocicleta 35
Ilustración 29: Líneas de hundimiento trasero y transferencia de pesos 40
Ilustración 30:Relación de hundimiento unitaria 41
Ilustración 31: R>1 41
Ilustración 32: R<1 42
Ilustración 33:Análisis Squat MS2 43
Ilustración 34: Layout de diseño MS2 44
Ilustración 35: Bastidor doble viga y multitubular 46
Ilustración 36: 1r Pre-diseño y prototipo de inspiración 47
Ilustración 37: 2º diseño bastidor 49
Ilustración 38: 3er diseño bastidor 49
Ilustración 39:Vista del diseño final del prototipo MS2 51

Ilustración 40:Bastidor Ms2 lateral 52
Ilustración 41: Bastidor Ms2 isométrico 52
Ilustración 42:Pipa de dirección 53
Ilustración 43:Parte plancha pipa 54
Ilustración 44:Parte cilíndrica pipa 54
Ilustración 45:Cotas generales placa pipa 54
Ilustración 46:Cotas generales cilindro pipa 55
Ilustración 47:Estructura tubular lateral 56
Ilustración 48: Detalle unión estructura tubular 57
Ilustración 49:Detalle cotas tubo transversal 57
Ilustración 50:Cotas general estructura tubular 58
Ilustración 51:Conjunto estructural de soportes motor 59
Ilustración 52:Placa lateral unión Bastidor-Basculante 59
Ilustración 53:Placa lateral exterior 60
Ilustración 54: Conjunto motor completo 60
Ilustración 55:Cotas generales placa bastidor-basculante 61
Ilustración 56:Cotas generales placa exterior bastidor 61
Ilustración 57: Triangulación nº2 63
Ilustración 58: triangulación nº1 63
Ilustración 59:Esquema de fuerzas en paso por curva 64
Ilustración 60: Circuito Motorland de Alcañiz 65
Ilustración 61: Simulación a flexión 66
Ilustración 62: Detalle repartición de tensión en unión bastidor 67
Ilustración 63:Simulación de desplazamientos con fuerza lateral 67
Ilustración 64:Esquema de fuerzas en frenada máxima 68
Ilustración 65: Distribución de tensiones en frenada máxima 69
Ilustración 66:Simulación de tensiones pipa de dirección 71
Ilustración 67:Simulación de desplazamiento pipa de dirección 72
Ilustración 68: Esquema insertos 73
Ilustración 69:: Plano inserto 74
Ilustración 70:Proveta de ensayo sobre laminación 74
Ilustración 71: Probeta inserto con adhesivo 76
Ilustración 72: Pinza de ensayo 76
Ilustración 73: Gráfica primer ensayo 77
Ilustración 74:Ensayo a tracción y temperatura 77
Ilustración 75: Rotura ensayo 78
Ilustración 76:Utillaje de posicionamiento estructura tubular 79
Ilustración 77: Puntos de unión estructura tubular 80
Ilustración 78:Recorte de planchade acero 80
Ilustración 79: Mecanizado en torno 81
Ilustración 80:Plano general utillaje 82
Ilustración 81:Detalle acople utillaje 83
Ilustración 82:Proceso de laminación 85
Ilustración 83: Proceso de vacío 86

Ilustración 84:Partes pipa de dirección 87
Ilustración 85: Soldadura de aluminio 88
Ilustración 86:Corte por agua fibra de carbono 88
Ilustración 87:Cotas generales 90

Índice de Tablas:

Tabla 1: Puntuación MotoStudent fase 1 11
Tabla 2: Puntuación MotoStudent fase 2 12
Tabla 3:Cotas de diseño MS2 44
Tabla 4:Desglose de fuerzas aplicadas en frenada al chasis 69
Tabla 5:Elementos para fabricar utillaje 79
Tabla 6:Material estructura lateral tubular 84
Tabla 7:Presupuesto de bastidor 89

Agradecimientos:

No podría empezar a escribir nada sin antes agradecer el soporte a las dos personas que siempre han estado presentes sin que yo jamás lo reclamase y a las que no ha hecho falta ni tan solo pronunciar, manifestar o sugerir nada; para que se desvivieran por ayudarme en lo que fuera necesario. No podría estar más orgulloso de vosotros. Gracias Papa. Gracias Mama.

En segundo lugar, me gustaría dar mil gracias a mis familiares y amigos por confiar en mi desde el principio y tener la paciencia increíble que siguen sosteniendo conmigo. Gracias.

Por último, pero no menos importante, he de agradecer este trabajo a las 11 personas que junto a mi forman el equipo MotoSpirit y que por su enorme esfuerzo y dedicación hemos conseguido crear algo que va mucho más lejos que un simple proyecto. Estoy deseoso de cruzar la meta con vosotros. Muchas gracias equipo sin vosotros esto no sería posible.

1. Objetivos del proyecto:

1.1 Objeto:

El objeto de este trabajo es el diseño de un bastidor de competición de altas prestaciones para su posterior fabricación y aplicación, mediante la participación del equipo MotoSpirit UPC en el campeonato mundial de universidades MotoStudent.

1.2 Alcance:

Este trabajo comprende el cálculo, diseño y dimensionamiento del bastidor más adecuado a los requerimientos técnicos impuestos por el equipo MotoSpirit y la competición MotoStudent. Asimismo, se lleva a cabo el estudio del proceso de ensayo, fabricación y comprobación práctica de dicho bastidor, que permitirá su utilización en la futura competición MotoStudent.

Queda fuera del alcance de este proyecto la definición de la tornillería utilizada y el cálculo de esfuerzos dinámicos.

1.3 Justificación:

Con el objetivo de participar en la cuarta edición de la competición MotoStudent, el equipo MotoSpirit se encuentra con la necesidad de calcular, diseñar, fabricar y ensayar una motocicleta eléctrica de competición en todo su conjunto.

En este proyecto se trabajará de forma específica el bastidor, aunque el equipo deba construir por completo el chasis de la motocicleta. Pese a que el equipo participara con un diseño propio en la anterior edición, el grupo que renueva el equipo (del que formo parte), decide no basarse en la anterior motocicleta y volver a crear completamente un nuevo modelo de moto de competición.

Todas las decisiones y soluciones técnicas adoptadas a lo largo del proyecto, son fruto del estudio de todos los problemas del equipo MotoSpirit y poseen el objetivo de encontrar la forma de optimizar tanto el comportamiento del prototipo como el presupuesto del mismo. Siempre cumpliendo la normativa vigente del campeonato.

Todo el material utilizado en este proyecto es generado por el equipo MotoSpirit y especialmente por el departamento de bastidor del que formo parte junto a Oriol Puig, Edgar Ferrer, Javi Peña e Isart Julià.

1.4 Antecedentes:

1.4.1 MotoStudent:

MotoStudent es una competición universitaria a nivel mundial, promovida por MEF (Moto Engineering Foundation), que tiene como objetivo desarrollar, construir y testar el prototipo de una motocicleta de competición con motor de combustión de 250cc 4T (Moto3) o bien con motor eléctrico de 13kW y 20,7 N/m. En ella, ingenieros de diferentes facultades compiten elaborando un proyecto de ingeniería que será evaluado desde el punto de vista industrial (coste, diseño, innovación), técnico (seguridad, funcionalidad, performance) y competitivo (pruebas dinámicas y carrera en circuito).

Uno de los propósitos de MotoStudent es que cada ingeniero se considere integrado en una empresa fabricante de motos, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos.

Para evaluar todos estos aspectos, la competición está dividida en dos fases, las cuales se puntúan y se premian diferentes aspectos.

- La primera fase es demostrativa, en la que los equipos presentan un proyecto industrial para la fabricación en serie basada en el prototipo construido.
-

Tabla 1: Puntuación MotoStudent fase 1

Presentación	*Aspecto*	*Puntuación*
Diseño e innovación	A. Diseño del vehículo	75
	B. Análisis y cálculos técnicos	
	C. Proyecto de innovación	100
Industrialización	D. Definición del sistema de fabricación e industrialización	125
	E. Análisis de costes del desarrollo y proceso industrial de fabricación en serie	75
	TOTAL	500

- La segunda fase consta de pruebas dinámicas realizadas por los pilotos de los diferentes equipos y una carrera en el circuito de velocidad de Motorland Aragón.

Tabla 2: Puntuación MotoStudent fase 2

Categoría	*Sesión*	*Prueba*	*Puntuación*
Pruebas dinámicas	Pruebas en pista	1. Prueba de frenado	60
		2. Gymkhana	100
		3. Prueba de aceleración	60
	Pruebas en box	4. Prueba de mecánica	30
	Entrenamientos libres	5. Vmax en speed trap	30
	Ent. cronometrados	6. Pole position	40
Carrera	Carrera	7.Vuelta rápida en carrera	30
		8.Posicion en carrera	150
		Total	500

En marzo de 2015 empezará la IV edición de MotoStudent que finaliza en octubre de 2016, donde los más de 30 equipos de 6 nacionalidades diferentes se verán las caras durante un fin de semana en el circuito de Motorland Aragón (Alcañiz).

1.4.2 MotoSpirit:

MotoSpirit nace en noviembre del 2012 con el objetivo de representar por primera vez a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y Aeronáutica de Terrassa (ETSEIAT) de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) en el certamen MotoStudent.

Ilustración 1: Logo MotoSpirit I

Hubo 8 estudiantes interesados en la participación y formación del equipo. El proyecto se tutorizó entonces por Miguel Ángel González, profesor docente e investigador del departamento de resistencia de materiales de la propia escuela. A parte de ser el responsable del grupo, dispone de grandes conocimientos del sector del motociclismo, impartiéndonos así un Master en Dinámica de la Motocicleta y asesorando a lo largo de la evolución del proyecto.

En enero de 2014, los 8 miembros del equipo pasan el testigo a las nuevas generaciones y se crea la segunda edición de MotoSpirit (MotoSpirit II). Esta nueva edición, 12 estudiantes de ingeniería de la UPC de Terrassa (tanto la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y

Aeronáutica de Terrassa como la Escuela de Ingeniería Técnica de Terrassa) se interesan por el proyecto y deciden ingresar en el nuevo equipo.

Ilustración 2: Logo MotoSpirit II

El nuevo equipo participa en la IV edición de la competición MotoStudent con la colaboración de la universidad a través del programa INSPIRE[3].

Ilustración 3 : Logo ESEIAAT y Inspire[3]

El programa INSPIRE[3] es una iniciativa enfocada a grupos de estudiantes para la realización de proyectos de ingeniería innovadores y reales que suponen una nueva experiencia educativa fuera de las aulas.

Tutelados por Daniel Alcalá Vergara y el equipo de resistencia de materiales contando con experimentados profesores en el mundo del motociclismo como Miguel Ángel González Lopez, el equipo ha establecido la estructura necesaria para que la escuela tenga, por segunda vez, representación en la competición MotoStudent, con la intención de luchar por todos y cada uno de los premios y reconocimientos que ofrece la organización.

Los ocho fundadores de MotoSpirit que participaron en la III edición, tienen además el compromiso de dar una continuidad al proyecto como referentes del nuevo equipo, y tener así un equipo de motocicletas de competición permanente en la escuela, en el que los futuros ingenieros tengan la posibilidad de participar en un proyecto real de competición antes de dar el salto definitivo al mundo laboral.

Los alumnos implicados en esta nueva edición son Oriol Puig, Xavi Safont, Cristian Rosiña, Isart Julià, Eduard Ares, Alex Gorge, Marc Esteve López, Daniel Mateo, Isaac Martínez, Javier Peña, Edgard Ferrer y Pol Puchol, organizados de la siguiente manera:

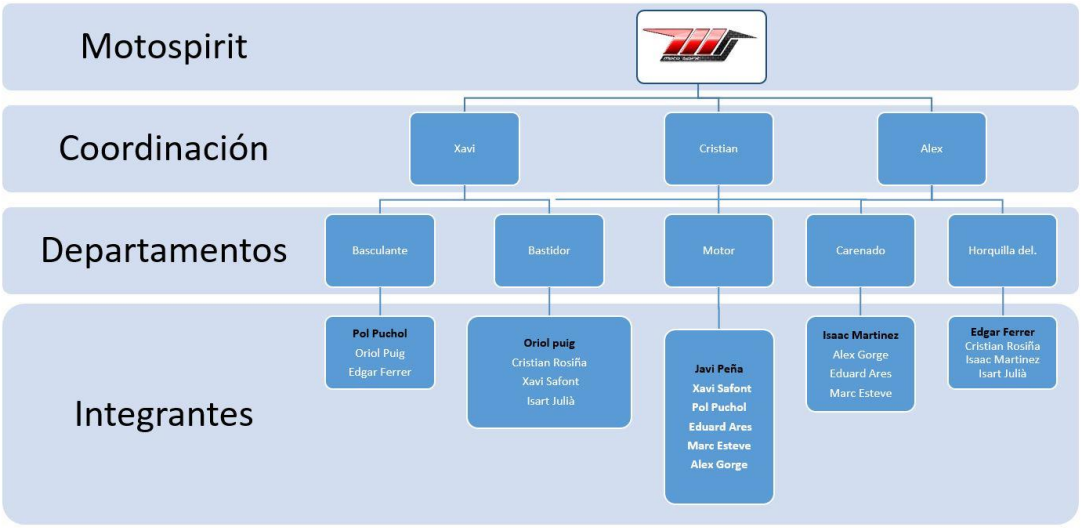


Ilustración 4: Esquema de organización del equipo

Aun así, el equipo sigue una estructura horizontal, a pesar de trabajar conjuntamente cada departamento es independiente del resto y ningún miembro del equipo tiene un peso específico superior a otro. Gracias a la metodología de trabajo, las plataformas utilizadas y las reuniones periódicas (semanales) todos los miembros del equipo conocen cual es estado del resto de departamentos y permite participar de forma activa en la toma de las decisiones más transcendentales.

Se diferencian básicamente dos tipos de departamentos: los técnicos y los administrativos. Todos los miembros del equipo participan en ambos tipos, esto permite aumentar así nuestro aprendizaje participando en el diseño, fabricación e industrialización, así como las necesidades que conlleva dirigir una estructura similar a una empresa.

Particularmente pertenezco a tres departamentos, por un lado, a los departamentos técnicos de Bastidor y horquilla delantera y, por otro, al departamento de Relaciones Externas.

En el primero de ellos, donde se genera todo el trabajo reflejado a lo largo de esta memoria, junto a mis compañeros nos encargamos del diseño, validación y fabricación del bastidor. Debemos cumplir todos los requisitos para su óptimo funcionamiento, así como los requisitos exigidos por la organización del evento.

En el departamento de horquilla delantera, nos encargamos del diseño, fabricación validación y puesta a puto del conjunto del tren delantero donde igual que en los demás departamentos Debemos cumplir todos los requisitos para su óptimo funcionamiento, así como los requisitos exigidos por la organización del evento.

Por último, dejando aparte los aspectos técnicos, el departamento de Relaciones Externas se encarga de la mayoría de contactos con entidades externas a la universidad, principalmente empresas privadas. Se gestionan todas las fases de colaboración, desde su búsqueda hasta la confirmación de esta, así como el mantenimiento del contacto informándole de forma periódica de los avances del proyecto.

2. Estado del arte:

2.1. Definición de bastidor:

Antes de precisar el objeto de estudio puntualicemos primero la parte más básica del grupo de estudio, este sería el conjunto completo de motocicleta. La motocicleta es la máquina que engloba todas las estructuras y mecanismos que hay descritas en este trabajo.

Según la rae, *una motocicleta es un vehículo automóvil de dos ruedas con uno o dos sillines [...]*. Se entiende entonces como motocicleta o moto, los vehículos movidos por motor que poseen dos ruedas para desplazarse. Comúnmente, la rueda delantera es la que posee la función de dirección del vehículo y la rueda trasera es la que transmite el par motor (o fuerza motriz) al suelo. La pieza o estructura que une estas dos ruedas y mantiene la integridad de la moto como conjunto es lo que denominamos bastidor.

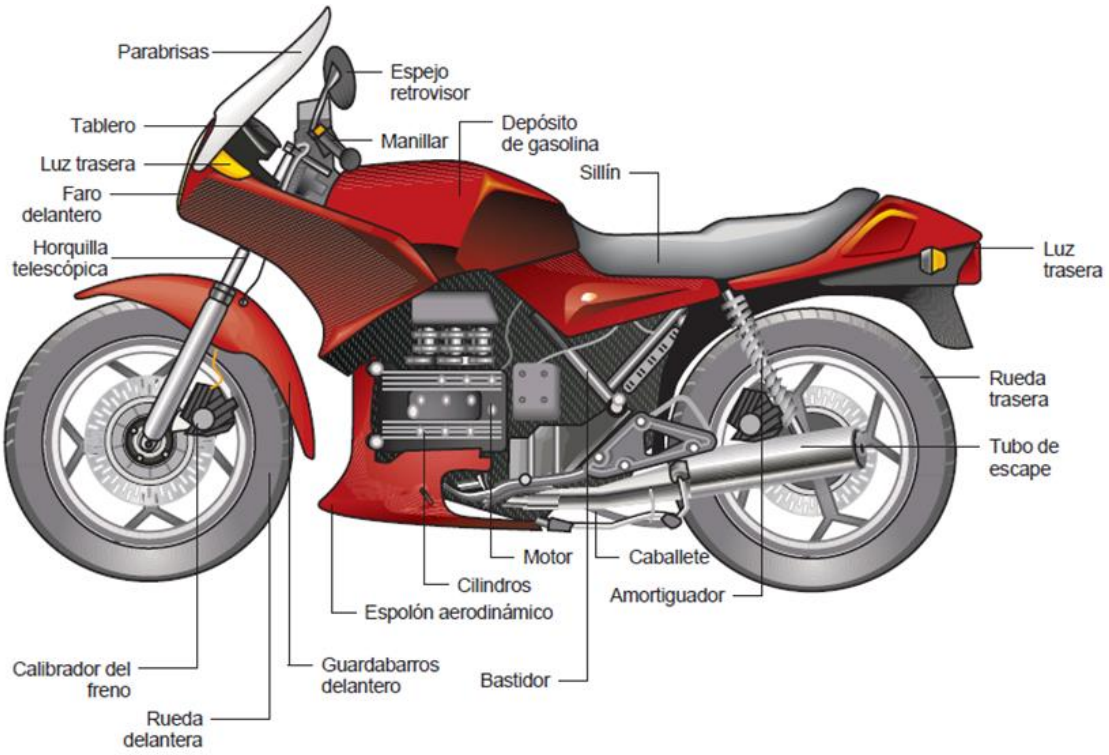


Ilustración 5 : Partes de una motocicleta (Mejorar foto)

Por una parte, el bastidor debe soportar los esfuerzos estáticos, es decir, debe sobrellevar el peso propio de la moto (chasis, motor y elementos auxiliares), del piloto y del acompañante si lo hubiere. Por otra parte, el bastidor ha de resistir además los esfuerzos dinámicos originados por la conducción de la motocicleta debido a la aceleración, desaceleración y cambios de dirección sin dejar de proporcionar agilidad, agarre y confort a su conducto.

Es necesaria una alta rigidez y resistencia a los esfuerzos de compresión, torsión y flexión producidos principalmente por las frenadas, fuerzas de transmisión y baches de inestabilidad del asfalto, garantizando así una mínima deformación y una mínima variación de su geometría, hecho que garantizada la seguridad del piloto y proporciona conduccionabilidad al vehículo.

Debido a la gran cantidad de variables a tener en cuenta en el diseño de un bastidor, a lo largo de la historia han sido muchas las soluciones adoptadas para intentar cubrir las necesidades básicas de la máquina, cada una con sus ventajas e inconvenientes.

2.1.1-Diferencia entre bastidor y chasis:

Comúnmente se cofunde el término bastidor con el de chasis, pero hemos de tener en cuenta a la hora de hablar de ellos que no estamos hablando precisamente de lo mismo. El bastidor está comprendido dentro del conjunto chasis, pero no a la inversa.

Entendemos como bastidor la unión principal que da forma a la moto como conjunto y une o sujeta las diferentes partes de la misma como columna vertebral. En cambio, el chasis comprende desde el bastidor hasta el basculante, las llantas, las ruedas, las pinzas de freno y tanto el conjunto de suspensión delantera como trasera también están dentro del conjunto chasis. En conclusión, el bastidor es la pieza central o principal del chasis, pero este último en cambio forma toda la estructura elemental de la motocicleta donde se anclan la resta de elementos.

Ilustración 7: Bastidor Motocicleta

Ilustración 6: Chasis Motocicleta

2.2. Tipos de principales chasis de motocicleta actuales:

Podríamos clasificar los diferentes tipos de chasis según 2 tipos de clasificación:

- Según su integridad estructural.
  - Chasis portantes
  - Chasis auto-portantes.
- Según su tipo de estructura.
  - Chasis tubular
  - Chasis doble viga
  - Chasis Monocasco

2.2.1-Según su integridad estructural:

Fijándonos en este aspecto diferenciamos entre dos tipos de chasis, los portantes y los auto-portantes. La principal diferencia entre estas dos vertientes de estructura recae en la funcionalidad o utilización de la pieza motor de forma estructural como parte principal esta.

Los bastidores portantes no utilizan el motor como parte de la estructura, por lo que el bastidor supone la columna vertebral de toda la motocicleta y todos los componentes deben estar en parte vinculadas o soportadas por el bastidor, además de tener que sostener todo el peso del motor como pieza a parte.

En cambio, los bastidores auto-portantes utilizan el motor, en su conjunto, para mantener la integridad de la motocicleta. Puesto que el motor por su configuración o solicitaciones es un elemento muy rígido de por sí, se utiliza su consistencia intrínseca para mantener la integridad de la motocicleta, pudiendo así aligerar peso y mantener la resistencia a las tensiones externas de la misma.

Ilustración 8:Chasis portante

Ilustración 9.Chasis auto-portante

2.2.2-Según su tipo de estructura:

Manteniendo la atención en este aspecto podemos dividir los principales chasis de motocicleta actuales en 3 grandes grupos:

- Chasis de tipo tubular
  - Chasis simple cuna
  - Chasis doble cuna
  - Multitubular o tubular triangulado
- Chasis de tipo Doble viga
  - Chasis doble viga perimetral
- Chasis de tipo Monocasco.

Chasis de tipo tubular:

El primero de estos grandes grupos clasifica todos los chasis que se fabrican a partir de tubos de sección circular de diferentes diámetros, aunque se pueden combinar con tubos rectangulares para la realización del sub-chasís o algunas uniones. La idea es unir mediante soldadura estos diferentes tubos para crear una estructura rígida capaz de soportar las solicitaciones de la conducción y proporcionar flexibilidad suficiente para una cómoda conducción. Estas estructuras empezaron a construirse en acero por sus buenas propiedades mecánicas y su sencillez de soldadura, aunque las mejoras técnicas en soldadura posibilitaron su construcción en aluminio puesto que a pesar de tener una prematura deformación plástica respecto al acero posee una proporción de peso muy positivo para la conducción. O obstante estos dos anteriores no son los únicos materiales en los que se pueden construir el chasís de una motocicleta, el titanio, el magnesio o la fibra de carbono son materiales que han tenido su relevancia o empiezan a tenerla gracias a la investigación y desarrollo de nuevas técnicas de construcción sobretodo de este último elemento.

Este tipo de estructuras ha sido utilizado en todos los tipos de motocicleta desde motos de ciudad como scooters o naked hasta motos de competición como superbikes o motocross.

A continuación, se explicarán brevemente las tres subclases de chasis tubular más relevantes actualmente:

Ilustración 10: Chasis simple cuna Bultaco metralla

Chasis Simple cuna:

El chasis de simple cuna cerrado es aquel que dispone de perfiles en un solo plano vertical que parten desde la pipa 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.

Chasis doble *cuna*:

Dos tubos descienden desde la pipa 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. Es usual en motocicletas tipo custom. También era típico de motocicletas de grandes cilindradas en los años 80.

Ilustración 11:Chasis doble cuna Triumph 1962

Chasis multitubular o tubular triangulado:

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.

Ilustración 12:Derbi GP 125 de competición

Chasis de tipo doble viga:

Este segundo grupo reúne todos los chasis que se componen de dos vigas de sección rectangular como pieza única que une la horquilla delantera con el bastidor. El concepto es unir directamente y con una forma totalmente libre los dos puntos fijos que todo bastidor debe unir.

Este bastidor es la solución más aplicada en el mundo de la competición e históricamente se ha considerado japonés, por su utilización desde los inicios por marcas de esta procedencia, aunque el inventor de este bastidor es un ingeniero español, Antonio Cobas. Este tipo de estructura da más libertad al diseñador a la hora de crear formas y por lo tanto obtener más cohesión entre elementos, además de resultar más predecible a la hora de ser simulado, puesto que hay menos elementos en contacto. El aluminio es el material que se ha utilizado por excelencia, la razón es que la existencia de este tipo de estructura respecto a al tubular es posterior. Aun así, se han realizado pruebas con aceros y fibras de carbono, pero los resultaban ser demasiado pesados y los segundos poseen un coste de fabricación bastante elevado ya que por cada pequeña modificación es necesaria la creación de un nuevo molde, aun así, es una alternativa bastante interesante de estudiar y que posee una creciente atención sobre todo en el mundo de la competición.

Chasis de tipo monocasco:

Por último, este grupo junta los bastidores que se han diseñado a partir de una única placa estampada o un conjunto de chapas con formas muy concretas. Una de las principales características de este chasis es que la propia chapa es capaz de hacer la propia función de chasis y simultáneamente la de carrocería como seria en el caso de la mayoría de modelos de Vespa.

Ilustración 14:Chasís Monocasco Kawasaki ZZR 1400

Ilustración 13: Chasís monocasco Vespa

2.3. Historia y evolución del bastidor y chasis de motocicleta:

Los bastidores de moto no pueden considerarse como un invento propiamente dicho, ya que es una evolución natural de las bicicletas. Pero si se han ido desarrollando innovaciones que han permitido ir mejorando sus prestaciones, tanto en temas de seguridad como dinámicas.

Si comenzamos desde el principio debemos situarnos en 1867 cuando el estadounidense Sylvester Howar Roper inventó un motor con cilindros a vapor accionado por carbón el cual añadió a un cuadro de bicicleta común en aquella época, esta máquina podría ser considerada como la primera motocicleta de la historia. Pero no fue hasta la primavera de 1884 cuando se dio un paso crucial a manos de Gottlied Daimler y Wihelm Maybach los que alumbraron a la sociedad y comenzaron una revolución técnica que iba a durar, al menos, más de un siglo, anunciando en Cannstatt la motocicleta que se convirtió en el primer vehículo a motor con ciclo Otto.

Ilustración 15: Primer vehículo con motor de gasolina (réplica de la Reitwagen, 1884)

El principal atractivo de conducir una motocicleta veloz ha cambiado muy poco en el último siglo. Durante este tiempo, las motos han pasado de ser máquinas simples con un solo cilindro a convertirse en sofisticados ingenios capaces de superar los 300Km/h.

"Rápidas" es un concepto relativo, que actualmente pocos lo emplearían para describir una moto que apenas alcanzase los 40Km/h. Sin embargo, ésa era la velocidad máxima de la primera moto de serie, construida en Alemania (diez años después de la primera motocicleta con motor Otto) por Heinrich Hildebrand y Alois Wolfmüler. Esta máquina surge de la creación

de una fábrica para construir vehículos de dos ruedas y le dieron el nombre de "motorrad" (motocicleta) al nuevo vehículo.

En cualquier caso, la moto de Hildebrand y Wolfmüler constituía sin duda una mejora respecto a la primera motocicleta, la Einspur "monocarril" monocilíndrica de 265 cc construida en madera nueve años antes por otro alemán, Gottlieb Daimler, Ilustración 15: Primer vehículo con motor de gasolina (réplica de la Reitwagen, 1884).

No es hasta 1901, cuando fue creada la motocicleta tal y como se la conoce hoy en día. Aquel año los hermanos franceses Werner (cuya firma era una de tantos fabricantes de motocicletas que situaban el motor en lugares muy dispares) trasladaron el motor de la rueda delantera a un cuadro rectangular entre las ruedas. La "nueva Werner" se manejaba mucho mejor gracias a su centro de gravedad más bajo y sentó el modelo a seguir, con alguna notable excepción, en el diseño de motocicletas. Los avances fueron sucediéndose a partir de entonces. También en 1901 la firma estadounidense Indian construyó su primer modelo y, un año después, Harley-Davidson haría lo propio.

A medida que la demanda de transporte personal crecía a ambos lados del atlántico, aumentaron las empresas que construían motocicletas con las más diversas configuraciones de motor. Poco tardaron los diseñadores en introducir innovaciones en las sencillas máquinas monocilíndricas del siglo XIX. Numerosas firmas empezaron a construir motos de dos y hasta cuatro cilindros antes de la Primera Guerra Mundial a medida que un número cada vez mayor de gente descubría la emoción y la comodidad de las motos.

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

La competición no podía esperar y, tan pronto como se fue capaz de tener "algo" con motor, comenzaron las carreras. Las primeras aparecieron en Francia en 1904 para cinco naciones (Austria, Alemania, Dinamarca, Francia y Gran Bretaña). Fueron en la carretera entre Dourdan y St. Arnoult, a 64 Km de París. En 1911 ya existía la carrera más grande de motos del mundo, *"The International Tourist Trophy Race"*, en la isla de Man, que fue ganada por una Indian.

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

Durante las décadas de 1920 y 1930, las monocilíndricas, cada vez más sofisticadas y veloces, consiguieron conservar su popularidad al tiempo que hacían su aparición monturas de doble cilindro como la Speed Twin de Triumph y la Brough Superior, que daban una nueva dimensión de motociclismo de grandes cilindradas.

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

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

"De diez a cien en directa" era el orgulloso eslogan con que Ariel anunció la Square Four durante la década de 1950. De esta forma resaltaba las prestaciones de la moto a bajas revoluciones, así como su velocidad máxima por encima de los 161 Km/h. La Square Four fue rediseñada en numerosas ocasiones durante su producción que se extendió entre 1931 y 1958. A lo largo de esos veintisiete años se dobló la cilindrada del motor y se transformó por completo el chasis y el perfil. Sin embargo, pese a ello, su potencia, su suavidad y el tamaño compacto de su motor de cuatro cilindros refrigerado por aire se mantuvieron constantes.

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

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

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

Para finales de los ´70, las firmas japonesas habían aportado una extraordinaria variedad de superbikes con dos, tres y seis cilindros; algunas de las cuales con una potencia superior a los 100 CV. A ese floreciente mercado se unieron los fabricantes europeos, con un sinfín de modelos exóticos.

A diferencia de la década anterior, en la que se manifestó una tendencia hacia una mayor potencia y un mayor tamaño, la década de 1980 vio evolucionar a las superbikes de distintas

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

En los noventa, las superbikes mejoraron y se hicieron más rápidas, alcanzando velocidades de más de 241Km/h. El manejo de las máquinas estándar, las producidas en serie, era igual al de las motos de competición de unos años antes. Los avances tecnológicos estaban allí para todos aquéllos que podían permitírselos, como pistones ovalados de Honda o las suspensiones delanteras sin horquilla de Yamaha y Bimota. Sin embargo, la mayoría de los motoristas prefería máquinas más convencionales. Muchas de las mejores superbikes eran versiones mejoradas de formatos establecidos, como el bien diseñadas dos cilindros en V de Ducati o las rápidas y ligeras cuatro cilindros japonesas. Si lo que se quería era velocidad pura, no había nada comparable a la aerodinámica de la Hayabusa de Suzuki.

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

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

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

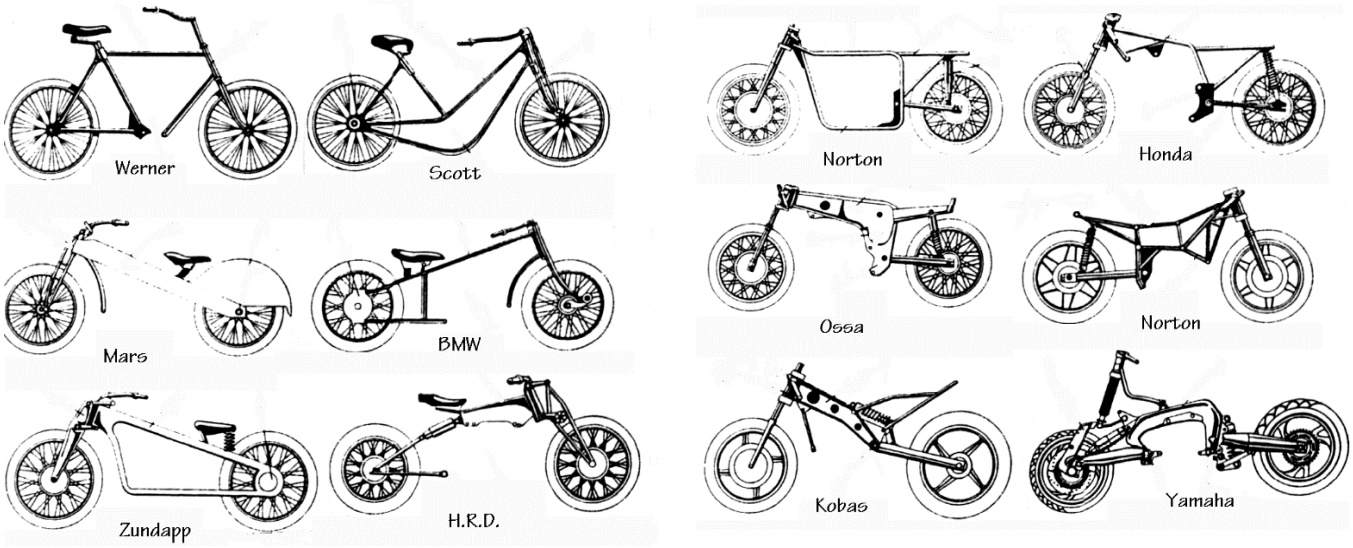


Ilustración 16: Evolución histórica de chasis (Arias-Paz, 1994)

2.3.1. Historia de la moto eléctrica:

La historia que rodea los vehículos eléctricos de dos ruedas es poco clara. La primera patente de una *bicicleta* eléctrica fue archivada el 19 de septiembre de 1895 y publicada el 31 de diciembre del mismo año. Consiste en un marco de bicicleta con un paquete de baterías montado en el centro del bastidor. La propulsión se realiza mediante un motor eléctrico montado con la rueda trasera y el mando se realiza desde la dirección de la *bicicleta con un diseño similar* a las bicicletas eléctricas que existen en el mercado actualmente.

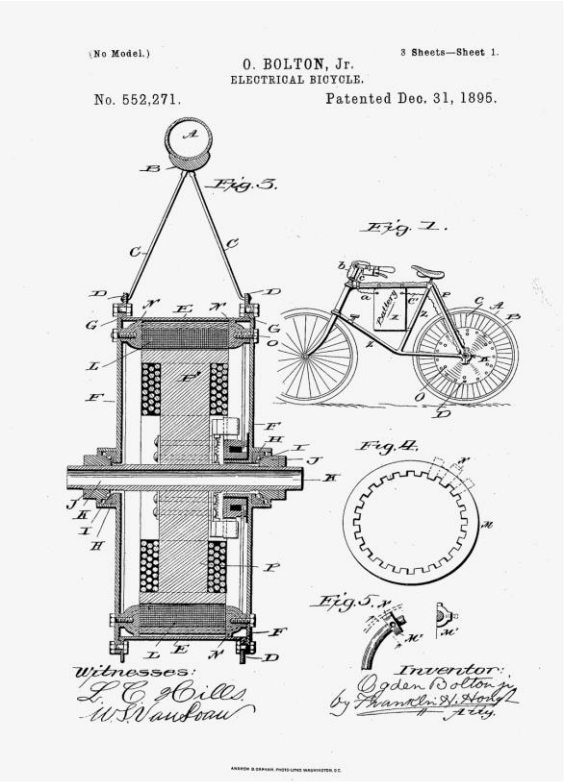

(No Model.) 3 Sheets—Sheet 1.
O. BOLTON, Jr.
ELECTRICAL BICYCLE.
No. 552,271. Patented Dec. 31, 1895.
Fig. 3.
Fig. 1.
Fig. 4.
Fig. 5.
Witnesses:
Inventor:

Ilustración 17: Diseños de la bicicleta eléctrica de O. Bolton, Jr. Patente del 31de diciembre de 1895

Una segunda patente de una *bicicleta* eléctrica fue archivada el 8 de noviembre de 1895 y publicada el 28 de diciembre de 1897. La patente lleva por título "Electric Bicycle", bicicleta eléctrica en español; sin embargo, las especificaciones y diseño adjunto en la patente describen más lo que hoy se conoce como motocicleta, puesto que ésta es propulsada por un motor eléctrico y no posee pedales. Consta de un marco de bicicleta que sostiene un motor eléctrico doble de imanes permanentes en el centro de la bicicleta, por debajo de un conjunto de baterías de ácido sulfúrico diluido. La transmisión a la rueda trasera se hace mediante bielas y manivelas, siendo la rueda trasera de doble banda, lo que hace que la *bicicleta* sea realmente de tres ruedas.

Estos modelos de *bicicleta* eléctrica nunca fueron comercializados. A pesar de varias patentes a partir de 1895, la primera mención de una motocicleta eléctrica no se produjo hasta octubre de 1911 en la revista Popular Mechanics. El artículo no nombra a ningún fabricante, sin embargo, describe una motocicleta eléctrica con un motor debajo del asiento, un controlador de 3 velocidades (4, 15 y 35 mph), un paquete de baterías de 6 celdas de 12 V cada una y una autonomía de 75 a 100 millas, [18].

Debido al racionamiento de combustible durante la segunda guerra mundial, la compañía belga Socovel. Desarrollo un modelo de motocicleta eléctrica. El primer modelo se puso en funcionamiento en enero de 1941. Alrededor de 400 unidades fueron producidas y salió rápidamente de producción después de terminar la recesión de combustible.

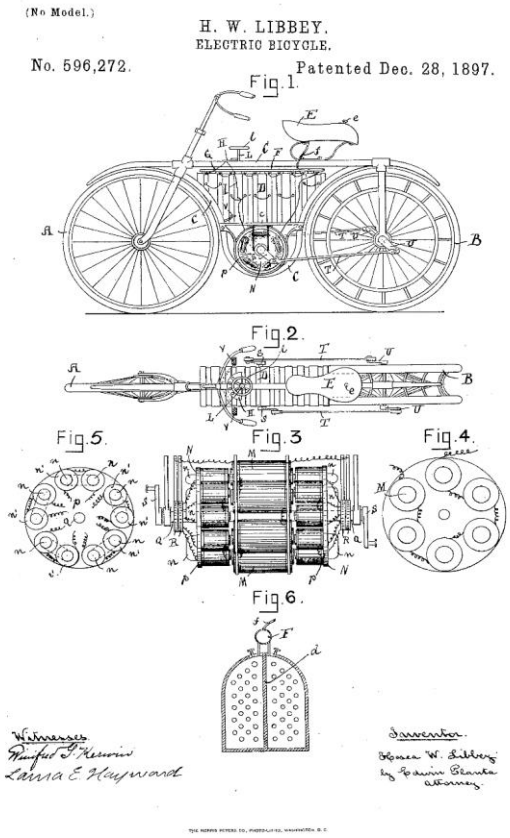

(No Model.)
H. W. LIBBEY.
ELECTRIC BICYCLE.
No. 596,272. Patented Dec. 28, 1897.
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 5.
Fig. 3
Fig. 4.
Fig. 6.

Ilustración 18: Diseño de la bicicleta eléctrica de Hosea W. Libbey. Patente número 596272 de diciembre 28 de 1897 20

El modelo funcionaba con 3 baterías de 6 V y 45 Ah ubicadas en un espacioso bastidor, lo que le daba a la motocicleta una autonomía de alrededor de 30 millas a una velocidad de entre 15 y 20 mph. El motor era de 1 hp y el tiempo de recarga era de 10 horas.

Una serie de avances en la tecnología se llevaron a cabo en los años siguientes. Sin embargo, no fue hasta finales de los 60 e inicios de los 70 que se empezaron a producir y comercializar bicicletas y motocicletas eléctricas después que Karl Kordesch inventara la pila alcalina y convirtiera su motocicleta a eléctrica. Esto acompañado de una escasez de petróleo en Estados Unidos debida a problemas políticos con países de medio oriente, proveedores del insumo líquido.

Muchas variedades de bicicletas eléctricas, underbones, scooters y ciclomotores se han desarrollado, fabricado y vendido desde entonces, siendo las bicicletas eléctricas las más populares y comercializadas.

Alrededor de 1998 al año 2001 se implementaron estrategias gubernamentales en Taiwán y China para promover la compra de motocicletas eléctricas de baja potencia en su población, esto con el fin de disminuir los efectos nocivos de la contaminación generada por los motores de combustión interna. En Taiwán la estrategia fracaso debido a la poca confiabilidad de las motos eléctricas. Por el contrario, en China, debido a leyes que limitaban el uso de motos con motor de combustión, se extendió el uso de motos y bicicletas eléctricas de baja potencia en las grandes ciudades.

El desarrollo de baterías con mayor densidad de carga y de potencia ha permitido el desarrollo de motocicletas eléctricas de mayor potencia y mayor autonomía, esto ayudado del deporte de alta competencia en las pistas. En 2008 se creó la TTXGP (que posteriormente pasaría a llamarse TT Zero), la primera competencia mundial de serie, de motocicletas totalmente libres de emisiones, el debut se realizó en la Isla del man. El deporte de competencia ha permitido el desarrollo tecnológico de diferentes marcas como Brammo, Zero Motorcycles, Mission Motors, CRP, Catavolt, Munch Motorcycles, entre otros.

2.4- Estudio de mercado actual:

Un primer paso en todo proyecto de diseño o desarrollo es conocer que existe o ha existido en el mercado y cuáles de estos proyectos han tenido éxito y de ser posible, por qué. Se ha realizado el estudio de varias motocicletas de competición que en diferentes aspectos se asemejaban a nuestro caso, aunque no ha sido posible una comparación directa puesto que, al ser una categoría insurgente en la actualidad, existen relativamente pocas referencias directas. Por este hecho se han debido de estudiar diferentes casos de motos eléctricas de distintas competiciones y abstraer las soluciones que se utilizaban en ellas a un caso que fuese similar al nuestro en cuestión de peso y configuración ya que como ya se ha comentado, directamente no existe ningún caso igual. Una buena referencia de motos de competición de mismo peso y características podría ser Moto3, pero a falta de categorías eléctricas las similitudes no son inmediatas. Para comparar motos eléctricas de competición, una buena referencia podría ser el Tourist Trophy Zero de la isla de Man pero tampoco existe un igualdad equiparable con nuestro modelo a causa que estas motocicletas superan a nuestro prototipo de mucho en peso y potencia lo que supone un salto demasiado grande en la comparación. Pero si nos referenciamos a estas motos y nos fijamos en los aspectos de configuración de Moto3 y las soluciones a nivel de distribución eléctrica del Tourist Trophy Zero podemos llegar a conclusiones bastantes interesantes para alcanzar una distribución de pesos y un diseño inicial considerablemente bueno teniendo en cuenta nuestras posibilidades.

A partir de estos modelos se ha podido realizar ingeniería inversa para obtener las cotas principales la geometría de estas motos, consiguiendo así unos datos iniciales en calidad de referencia para el proceso de diseño. Algunas de las motos de las cuales se han obtenido referencias claras de geometría son la Derbi gp 2005 del mundial y la ktm de moto 3 de 2006, entre otros referentes.

A diferencia de otros sectores como el automovilístico o aeronáutico, en el motociclismo, la fibra de carbono no ha tenido un peso específico importante, aunque su implantación está en alza sobre todo si nos fijamos en la tendencia actual de las motos de competición pese a que por lo general los diferentes equipos tienden a tener un pensamiento bastante conservador con las cosas que les han funcionado bien con anterioridad próxima.

Se han presentado varias propuestas a lo largo de los años, pero por diferentes motivos no han triunfado o no han gozado de la continuidad necesaria. Pueden ser varias las razones que han ocasionado estas situaciones, una de ellas, seguramente la principal, es que las sensaciones percibidas por el piloto son diferentes a las que tiene cuando pilota una moto con un chasis en acero o aluminio.

A pesar de ser un material con unas propiedades mecánicas y una ligereza excepcionales, dispone de un módulo elástico muy elevado hecho que no permite su deformación (flexión) al contrario del resto de materiales generalmente utilizados.

Aunque existen muchos proyectos donde la fibra de carbono es el material principal del chasis, todos ellos han sido prototipos, generalmente de competición, y ninguno ha llegado

a producirse en serie. Debido a este motivo, es poca la información que se puede obtener en comparación con el resto.

2.4.1-Prototipo Armstrong:

En la década de los 80, la marca británica CWH de Armstrong fue vendida y Rave Motorsport Ltd diseñó este chasis en fibra de carbono para sus motores Rotax de 250 y 300cc de armstrong.

Se puede observar la simplicidad del bastidor, presentando un doble viga muy estrecho y ligero (perfil rectangular abierto) donde el motor realiza una función importante y da alojamiento al punto de pivotamiento del basculante y el anclaje de la suspensión. Como curiosidad, la suspensión va anclada por un único punto y se localiza, junto al motor, en una ubicación inferior a la habitual, hecho que también baja el centro de masas.

Ilustración 19: Prototipo de chasis de competición de carbono

2.4.2-Proyecto Britten:

A principios de la década de los 90, el ingeniero Neozelandés John Britten diseñó la Britten V1000, una motocicleta innovadora en varios aspectos.

Dotada de un gran y robusto motor en V de 1000cc que actuaba como elemento estructural, disponía de un pequeño bastidor monocasco en fibra de carbono. Otros aspectos que caracterizaban a la Britten eran el posicionamiento en el motor del punto de pivotamiento del basculante, la situación en la parte delantera de la amortiguación trasera y la suspensión delantera de doble paralelogramo tipo Hossack. Lamentablemente el proyecto finalizó en 1995 por la muerte de John Britten.

Ilustración 20: Prototipo de competición Britten

2.4.3-Prototipo Ducati e inmotec:

Más recientes son estos casos, donde también se ha utilizado la fibra de carbono en la categoría reina de mundial de MotoGP.

En el caso de Ducati, en el año 2009 el concepto de la Desmosedici GP09 es parecido al que presentaba Britten en su prototipo. El motor, también en V, era el principal elemento estructural que unía por un lado un bastidor monocasco y por otro el basculante, ambos realizados en fibra de carbono.

Ilustración 21:Prototipo de competición Ducati Desmosedici

2.4.4-Modelo Empulse RR:

En diciembre del 2012 la empresa Brammo lanzá al mercado la Empulse R este modelo contaba con transmisión de seis velocidades y velocidad máxima de 169 km/h. Es en ese mismo año cuando el modelo Empulse RR del 2011 gana el TTXGP World Championship en la sede de Daytona.

Se puede observar como esta participante presenta un bastidor de doble viga en aluminio totalmente recto el cual se puede observas que se abre rápidamente por la parte de la pipa de dirección para poder abrazar el gran volumen rectangular que representan las baterías de esta moto, característica muy común en los diseños de motocicletas eléctricas.

Ilustración 22:Victory

2.4.5-Proyecto E1pc 2012:

La empresa MotoCzysc han presentado diferentes innovaciones desde la creación de su primer prototipo de moto de combustión en 2009 hasta llegar a este modelo eléctrico en 2012. Algunas de estas interesantes innovaciones son suspensión delantera con monoamortiguador coaxial, ajuste del trail de la motocicleta desde el pie de horquilla y bastidor monocasco en fibra de carbono.

La principal particularidad de este bastidor es que esta realizado en fibra de carbono y abraza completamente las baterías por la parte inferior a diferencia del caso tipo de la doble viga típico que resigue la parte superior del motor o baterías. Éste, además, es capaz de cumplir a su vez de estructura y en parte carenado de la motocicleta.

Ilustración 23: Modelo E1PC ganador de TT Zero 2012

2.4.6-Proyecto Mugen Shinden San:

Mugen Motorsports o M-TEC.Ltd es una empresa creada en 1973 Hitoroshi Honda, hijo del fundador de Honda Motor Company.

En este caso podemos observar que la Mugen Shinden San posee un chasis creado en su totalidad en fibra de carbono en un diseño a medio camino entre doble viga y monocasco creado para envolver el gran volumen de baterías dela manera directa, lo que aporta a esta motocicleta una disminución de peso considerable a diferencia de los materiales típicos. Aun así, la Mugen cuenta con unos valiosos 230 kg de peso que quedan aminorados por sus 100kw de potencia o 220 Nm.

Ilustración 24: Modelo Mugen Shinden San ganadora de TT Zero 2015

2.4.7-Modelo Mission R:

En febrero de 2007 se funda en california la empresa Mission Motors con la misión de crear motos eléctricas de alto rendimiento.

Este modelo presenta abundantes novedades en lo que a bastidor respecta. James Parker disecciona este bastidor "Quad-Frame" en 4 partes. Primero, proyecta la pipa de dirección en un macizo de aluminio mecanizado que consigue dar una gran amplitud al conjunto bastidor, con el fin de almacenar las baterías. Segundo, separa los dos laterales del bastidor en dos estructuras multitubulares iguales en aluminio fijadas al resto de piezas mediante sujeciones pivotantes. Tercero aporta rigidez a la flexión lateral del conjunto con una plancha mecanizada en el centro del bastidor. Y por último utiliza el cárter del motor eléctrico como base para anclar el basculante.

Ilustración 25: Modelo de la Mission R ganadora de TTXGP 2011

2.5. Precedente MotoSpirit I.

Uno de nuestros grandes modelos a seguir es el prototipo del equipo anterior. Las similitudes en reglamento, medios disponibles y posibilidades de creación junto con la disponibilidad física del prototipo crean un gran referente a seguir para la realización de nuestro propio diseño.

Ilustración 26: Prototipo MotoSpirit I

El Bastidor del anterior equipo está realizado con tubos de fibra de carbono de 28 mm. Este bastidor pretende unir de manera directa la pipa de dirección con el motor de combustión Sherco 4 tiempos, del cual disponían para disputar la competición. Por tal de ahorrar más peso, se utilizó dicho motor de manera estructural. De esta forma, el mismo motor es el elemento que une bastidor con basculante, la estructura de fibra de carbono solo había de juntar la pipa de dirección con el motor. Esta es una solución que proporciona mucha rigidez al bastidor y crea la posibilidad de realizar una motocicleta considerablemente pequeña.

La fabricación del bastidor se realiza a partir de un utillaje creado para este fin y sobrelaminando las uniones entre tubo y tubo, y entre tubos y pipa. Esta solución dio incluso mejores resultados de lo esperado pues esta unión carbono-carbono resultó ser tan rígida que hizo que las uniones dejasen de ser los puntos críticos de la estructura a diferencia de una estructura de acero o aluminio soldada con los métodos convencionales.

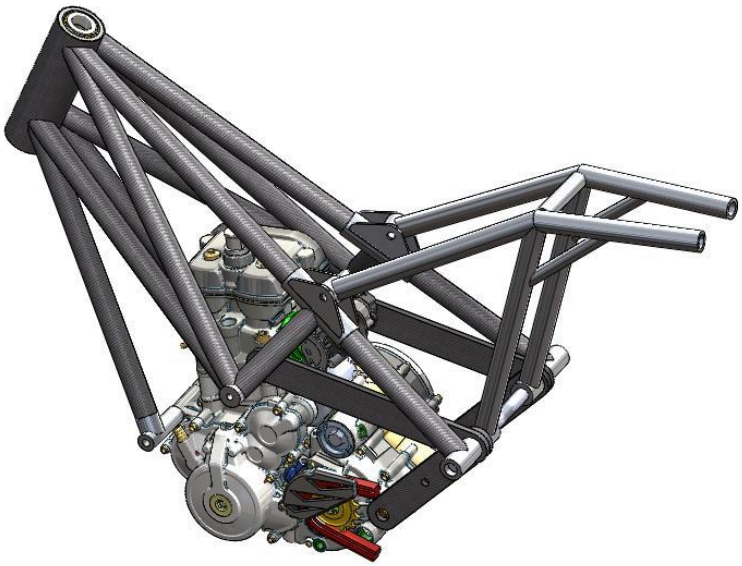


Ilustración 27:Bastidor prototipo MotoSpirit I

3.0-Diseño:

Este apartado engloba la parte de diseño creación del bastidor, los procesos de proyección y los criterios que se utilizaron para realizar los diferentes diseños. Con el fin de entender cómo se desarrollaron los diferentes elementos, se explicará el proceso de manera cronológica. Para poder comprender las decisiones tomadas en la obtención del diseño final, se expondrá en cada paso del proceso los errores detectados y la solución propuesta para solventarlos.

Este proceso me ha permitido realizar un aprendizaje "sobre la marcha" en la que la toma de decisiones ha sido crucial para la obtención del diseño final.

Como descendientes del proyecto MotoSpirit I, evidentemente nacen pensamientos influenciados de evolución o de utilización del know-how creado por el anterior equipo. Aunque poseíamos la experiencia y el material de nuestros predecesores, se decide por parte del nuevo equipo no crear una evolución directa de la anterior moto y volver a diseñar un prototipo desde el principio (aunque si utilizásemos parte del know-how obtenido). Este hecho junto al cambio de categoría (de combustión a eléctrica) impulsa a la nueva generación a plantearse nuevas soluciones para los problemas que plantea el diseño y construcción de una motocicleta, pero sin olvidar la técnica evolucionada por la primera generación de MotoSpirit.

3.1-Datos de partida:

Primero de todo comenzaremos por los elementos que la organización impone utilizar. Estos elementos son de uso obligatorio y no pueden ser modificados externamente ni interiormente en ningún caso. Estos elementos son:

- Motor Heinzmann PMS 150 de imanes permanentes.
- Llantas Marchesini kompe pre-moto 3.
- Neumáticos Dunlop KR149 y KR133.
- Conjunto de freno de J Juan (ID0007-13 – FCRH1, ID0006-14 FC1, ID0003-11 HMC1, OT0009-10 FMC1).
- Sistema de protección eléctrica Bender IMD.

Además de los elementos de obligatoria utilización que obviamente nos condicionaran el diseño, también se imponen diferentes características o especificaciones que acotaran el dimensionado de algunas de las piezas realizadas. Estos aspectos a medida que se reflejen en los diseños.

3.2-Geometría y parámetros de diseño:

Una vez enumerados los componentes de obligatoria utilización el siguiente paso a realizar, en el diseño del chasis, es la definición general de la geometría. La cual definirá en gran parte el comportamiento de la moto, ja que decide la distribución de peso del conjunto y la posición de los diferentes componentes en el conjunto, cosa que junto a la rigidez de las diferentes partes fija el comportamiento dinámico de la motocicleta en su conducción o pilotaje.

En el momento de realizar un estudio cinemático de una motocicleta, esta será considerada un cuerpo rígido, es decir, sin elementos de suspensión y con ruedas indeformables.

Algunos de los parámetros más influyentes en la creación de una motocicleta son:

- Distancia entre ejes
- Angulo de dirección
- Avance
- Excentricidad de horquilla
- Centro de gravedad
- Angulo del basculante
- Longitud de basculante
- Rigidez del chasis
- Análisis del *squat*

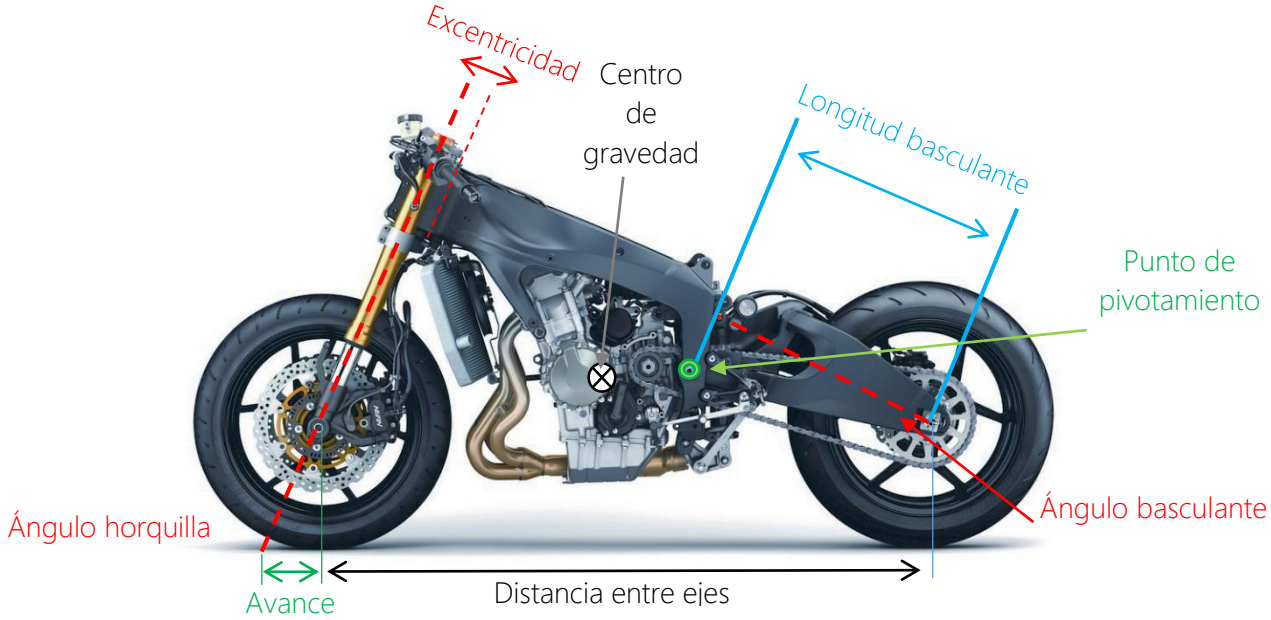


Ilustración 28:Parametros de diseño de una motocicleta

3.2.1-Distancia entre ejes:

La distancia entre ejes es la distancia entre los puntos de contacto de los neumáticos que coincide con los centros de las ruedas cuando la dirección es en línea recta.

Esta distancia tiene diversos efectos, pero en general, cuanto mayor es esta también es mayor tanto la estabilidad direccional como el esfuerzo necesario para realizar una curva. Por este motivo la distancia entre ejes varía en función de la aplicación de la motocicleta. Para determinar su valor se ha de tener en cuenta:

- El círculo mínimo de rotación o curvatura máxima que se debe realizar.
- La necesidad de estabilidad o de entrada en curva de la motocicleta o el equilibrio entre estabilidad y agilidad al que se quiere llegar.
- La transferencia de pesos, pues una distancia mayor disminuirá este efecto y provocará una frenada más suave.
- La rigidez flexional a obtener en la motocicleta, debido a que una mayor distancia facilita que el chasis posea más deformación flexional y torsional y por lo tanto disminuye su rigidez.

En el caso de las motocicletas de competición de baja potencia, la distancia entre ejes podría variar de 1200 a 1280mm. Esta distancia es ajustable, a través del tensor de cadena, entre 20 y 40mm permitiendo así, aparte de variar el comportamiento dinámico, acomodar las variaciones del piñón de ataque y de la tensión de la cadena.

3.2.2-Avance:

El avance es la distancia horizontal desde el punto de contacto del neumático con la superficie del suelo hasta el punto de intersección del suelo con la prolongación del eje de la dirección.

La función principal del avance es proporcionar estabilidad direccional, pero este también provoca un efecto corrector de la dirección. Este efecto es de gran ayuda al principio y final de las curvas, pues provoca un brazo de palanca en el momento que la dirección de la motocicleta no es en línea recta. Este momento posee un efecto contrario al giro instantáneo de la dirección y por lo tanto intenta devolver la moto a un movimiento rectilíneo.

En condiciones estáticas es fácil de medir puesto que el punto de contacto del neumático coincide con la vertical del eje de la rueda. Bajo condiciones dinámicas esta medición se dificulta puesto que varía de forma continua y por lo tanto hace variar las condiciones dinámicas de la moto continuamente.

A priori, y por su función, se podría pensar que es mejor una distancia grande de avance, pero demasiada estabilidad acabaría generando una dirección pesada y poco ágil.

En competición el avance oscila entre 85 y 100mm. A pesar de su variación en condiciones de uso de la máquina es uno de los parámetros más influyentes en el comportamiento de la dirección y pese a que el hecho de que varié puede parecer un inconveniente, con un buen diseño se puede forzar esta variación para obtener las configuraciones dinámicas más adecuadas para los distintos instantes de uso.

3.2.3-Excentricidad de horquilla:

La excentricidad u *offset* es la distancia entre el eje de dirección y la línea paralela que pasa por el eje de la rueda delantera. Puede coincidir con la distancia entre el eje de dirección y el eje de la horquilla cuando esta esté centrada con el eje de la rueda.

Este parámetro no tiene un efecto directo sobre la dinámica de la motocicleta, pero dependiendo de su valor otros parámetros como el avance o el ángulo de dirección serán alterados para mantener unas mismas condiciones dinámicas.

Si la horquilla está centrada con el eje de la rueda la excentricidad estará producida únicamente por las pletinas que fijan el eje de dirección. Las pletinas o su posibilidad de cambio, es un buen método para variar la excentricidad y así el avance sin variar el ángulo de dirección.

De forma contraria al avance, la excentricidad no tiene unas medidas muy establecidas, pero generalmente oscila entre 25 y 30mm.

3.2.4-Angulo de dirección:

El ángulo de dirección o más comúnmente llamado lanzamiento es el ángulo formado por el eje de dirección con la vertical, aunque algunas veces el ángulo de dirección también se da como el formado por el eje de dirección y la horizontal (pero es más inusual).

Sería fácil explicar la existencia de este ángulo desde el punto de vista de la construcción, pero para la geometría de la motocicleta es un poco más complicado, pues este ángulo no tiene por qué ser realmente necesario. Está claro que, con una excentricidad fija, el avance dependerá únicamente de este parámetro, pero si mantenemos un avance fijo podemos comprobar que el brazo autoalineante que provoca éste, queda mermado al aumentar el ángulo de dirección. De esta manera esto parece indicar que son más beneficiosos lanzamientos pequeños, pero esto también complica el diseño y fabricación del objeto.

Prácticamente en todos los casos el eje de dirección es totalmente paralelo a la horquilla delantera. Independientemente de la cilindrada, los ángulos de dirección de una motocicleta de competición oscilan entre los 22º y los 25º.

3.2.5-Centro de gravedad:

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de una motocicleta es la manera en que se distribuye el peso. Esta distribución controla muchos aspectos del rendimiento dinámico de la máquina.

La distribución de peso (en sus tres dimensiones) viene determinada por la localización de las distintas partes, especialmente las más pesadas, como el motor, horquilla, ruedas y piloto. El resultado total se define por la localización del centro de gravedad.

Son de especial importancia las localizaciones de:

- Baterías.
- Piloto.
- Motor.
- Distribución de partes auxiliares.

En cuanto a la posición del piloto, el triángulo rojo marca la posición de las manos, del reposapiés y del apoyo trasero en el colín. El punto que acotamos justo por debajo del vértice superior es el apoyo en el asiento.

Pequeños cambios en la localización del centro de gravedad a menudo nos llevan a mejoras significativas en la manejabilidad, tracción y aceleración de la motocicleta.

Los requerimientos básicos que debemos cumplir son cuatro:

- Todos los componentes tienen que tener una localización físicamente aceptable.
- El piloto ha de situarse en una posición mínimamente confortable que reduzca la resistencia aerodinámica.
- El centro de gravedad debe situarse en una posición óptima. De otro modo se reducirán las prestaciones en aceleración y frenada. También experimentaremos problemas de manejabilidad.
- La geometría del basculante debe ser aceptable y no debe tener excesiva tendencia pro-*squat* o anti-*squat (apartado* 3.2.8-Analisis del squat*.)*.

Otro aspecto muy importante relacionado con el centro de gravedad es la posibilidad de reducir momentos de inercia por medio de la centralización de masas. A pesar de que el centro de gravedad se encuentre en el punto óptimo, si las masas no se encuentran debidamente posicionadas (por ejemplo, situadas de forma igual entre ambas ruedas), se obtendría una respuesta dinámica de la moto pésima debido a las inercias causadas por las masas no suspendidas.

La mejor manera, pero imposible (aunque mejor cuanto más nos acerquemos a ella), resultaría en una masa no suspendida nula y toda la masa concentrada en el centro de gravedad. De esta manera tendríamos una motocicleta muy ágil con un comportamiento dinámico perfecto.

3.2.6-Angulo del basculante:

El ángulo del basculante es el formado entre la horizontal y una línea que une el centro de la rueda trasera con el punto de pivotamiento. Este parámetro es de los parámetros geométricos más decisivo para crear un comportamiento de tracción adecuado.
Al aplicar una aceleración y un par sobre la rueda trasera el basculante puede tender a comprimir o extender la suspensión trasera debido a la transferencia de carga originada. Al variar la inclinación del basculante se varia el squat de la motocicleta y por lo tanto esta tendrá un comportamiento u otro totalmente opuesto dependiendo del valor de esta inclinación. Por lo general, el comportamiento correcto sería el de compresión, puesto que al acelerar

comprimirá la suspensión trasera y aumentara así la distancia entre ejes consiguiendo una mayor estabilidad necesaria en el momento de aceleración.
Las motocicletas actuales suelen comprimirse debido a este fenómeno entre 7 y 15 mm y los basculantes suelen poseer un valor de inclinación de entre 5º y 15º por debajo de la horizontal.

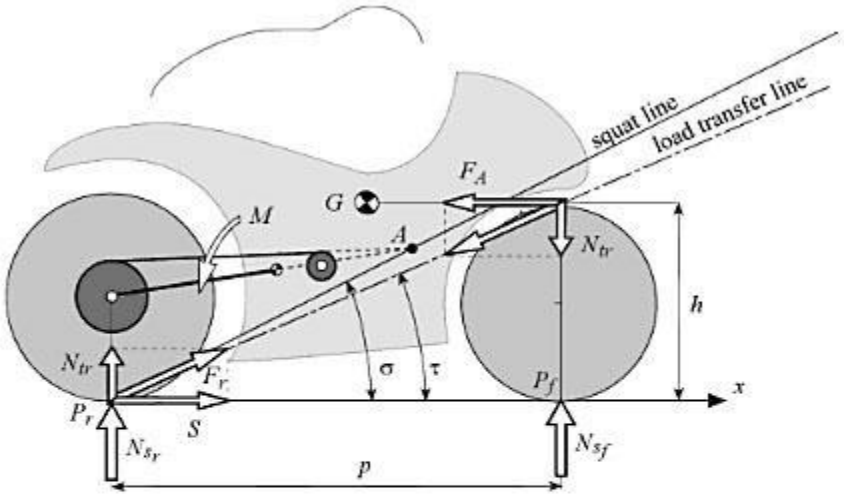
3.2.7-Longitud del basculante:

La longitud del basculante es la distancia entre el punto de pivotamiento y el eje dela rueda. Por si solo este para metro no afecta a las características dinámicas de la motocicleta, pero usualmente a más longitud de basculante mayor será la distancia entre ejes y menor será la inclinación de este. Si mantuviésemos invariables los parámetros de longitud entre ejes y el ángulo del basculante no existe ningún concepto físico que haga variar el comportamiento de la motocicleta variando este parámetro. Por este hecho un basculante lo más corto posible parecería la mejor solución, pero como hemos comentado con anterioridad un ángulo menor mejora el comportamiento de la motocicleta, el cual será más fácil de conseguir con un basculante largo. Pero por la dificultad de mantener la distancia entre ejes invariable al alargar el basculante un basculante largo creará una distancia entre ejes grande, lo que no siempre será adecuado. Así que habrá que llegar un compromiso entre un buen ángulo de basculante y una distancia entre ejes deseada.

En competición la longitud del basculante se mueve en torno a los 515mm.

3.2.8-Analisis del squat.

Definimos la relación del hundimiento trasero (*squat*) como R, existente entre el momento generado por la transferencia de pesos y el momento generado por la suma de la fuerza de la cadena y la fuerza de transmisión. Llamamos σ al ángulo de este hundimiento.



$$\Re = \frac{N_{tr} L \cos\phi}{S L \sin\phi + T L \sin(\phi - \eta)}$$

$$\Re = \frac{h \cos\phi}{p\left[\sin\phi + \frac{R_r}{r_c}\sin(\phi - \eta)\right]} = \frac{\tan\tau}{\tan\sigma}$$

Ilustración 29: Líneas de hundimiento trasero y transferencia de pesos

Esta relación de hundimiento varía según lo hace el ángulo de inclinación del basculante y depende de la diferencia entre el ángulo de inclinación del basculante y el ángulo de inclinación de la cadena. Dicha diferencia es sensible a la posición del eje del piñón de ataque en relación a la posición del eje de pivotamiento del basculante. Pueden ocurrir tres casos:

- El punto *A* ésta en la línea de transferencia de pesos, entonces $\sigma = \tau$; en este caso R = 1. Durante la fase de empuje no hay momentos adicionales operando en el basculante, luego el muelle de la suspensión no se comprime más comparado con su condición estática.
- El punto *A* ésta debajo de la línea de transferencia de pesos, $\sigma < \tau$; en este caso R > 1. El momento generado por la fuerza resultante F_r causa compresión en el muelle, además de la creada en condiciones estáticas.
- El punto *A* ésta encima de la línea de transferencia de pesos, $\sigma > \tau$; en este caso R < 1. El momento generado por la fuerza resultante F_r causa extensión en el muelle.

Actitud de la motocicleta según el squat

Continuemos con unas observaciones sobre el comportamiento de la motocicleta en movimiento a velocidad constante y con presencia de un empuje equilibrado por la fuerza de resistencia aerodinámica.

Con el incremento de la fuerza de la cadena y, por tanto, de la fuerza de empuje, el eje delantero se levanta debido a que la carga en la rueda delantera se reduce, mientras que la parte trasera del bastidor se levanta o se hunde en función de la relación de hundimiento trasera.

- En el caso de que la relación de hundimiento sea igual a la unidad, R=1, como la fuerza de la cadena varía, la fuerza que opera sobre el muelle de la suspensión trasera no realiza ninguna variación como acción de la transferencia de pesos, ya que está perfectamente equilibrada por la fuerza de la cadena. Bajo estas condiciones específicas las variaciones en el empuje afectan sólo a la suspensión delantera, ***el eje delantero se levante y el trasero apenas se mueve***.

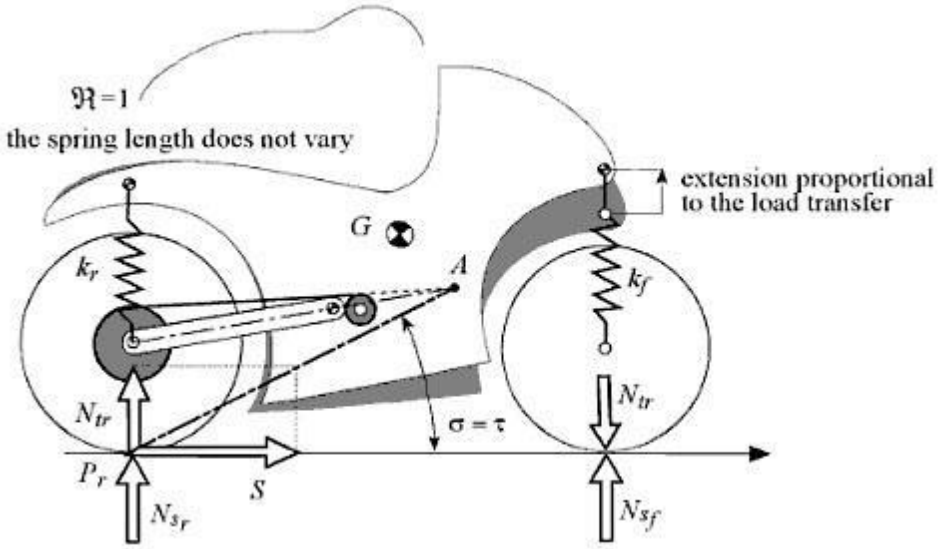


Ilustración 30:Relación de hundimiento unitaria

- En el caso de que la relación de hundimiento sea mayor que la unidad, R>1, el muelle de la suspensión trasera se comprimirá comparado con la condición de equilibrio con una fuerza nueva en la cadena. Con el incremento del valor de la fuerza en la cadena, ***el eje delantero se levanta mientras el trasero se hunde*** de manera proporcional al valor de la relación de hundimiento.

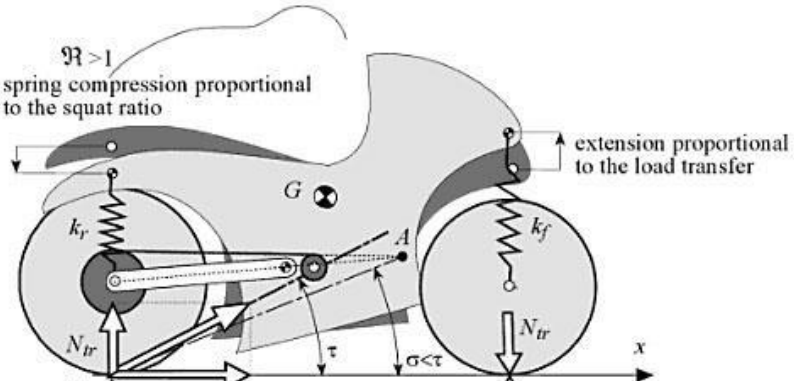


Ilustración 31: R>1

- En el caso de que la relación de hundimiento sea menor que la unidad, R<1, el muelle la suspensión trasera se extiende y con el incremento de la fuerza en la cadena ***tanto el eje delantero como el trasero se extienden***, causando que el centro de gravedad de la motocicleta se eleve.

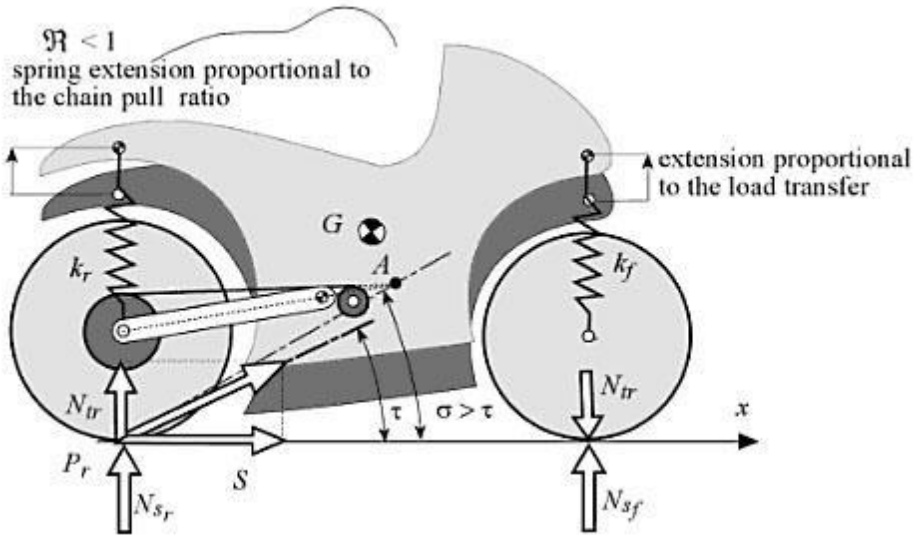


Ilustración 32: R<1

Observando los tres casos anteriores podemos concluir que la relación de hundimiento debe ser cercana a la unidad y siempre por debajo para las motocicletas de carreras y muy deportivas de calle, ya que se transmite toda la aceleración al bastidor sin pasar por la suspensión.

Análisis Squat

Una vez se han situado todos los elementos sobre el plano, confirmando la validez de las posiciones posicionado el centro de gravedad ideal y que el departamento de motor haya realizado un estudio para aportar una estimación del desarrollo que se utilizará durante el fin de semana de la competición, se procede a analizar el *squat*.

Como se ha explicado previamente, para garantizar un correcto funcionamiento de la motocicleta, σ>τ. Observando la imagen superior vemos que en este caso se satisface la relación y que ambos ángulos son bastante cercanos.

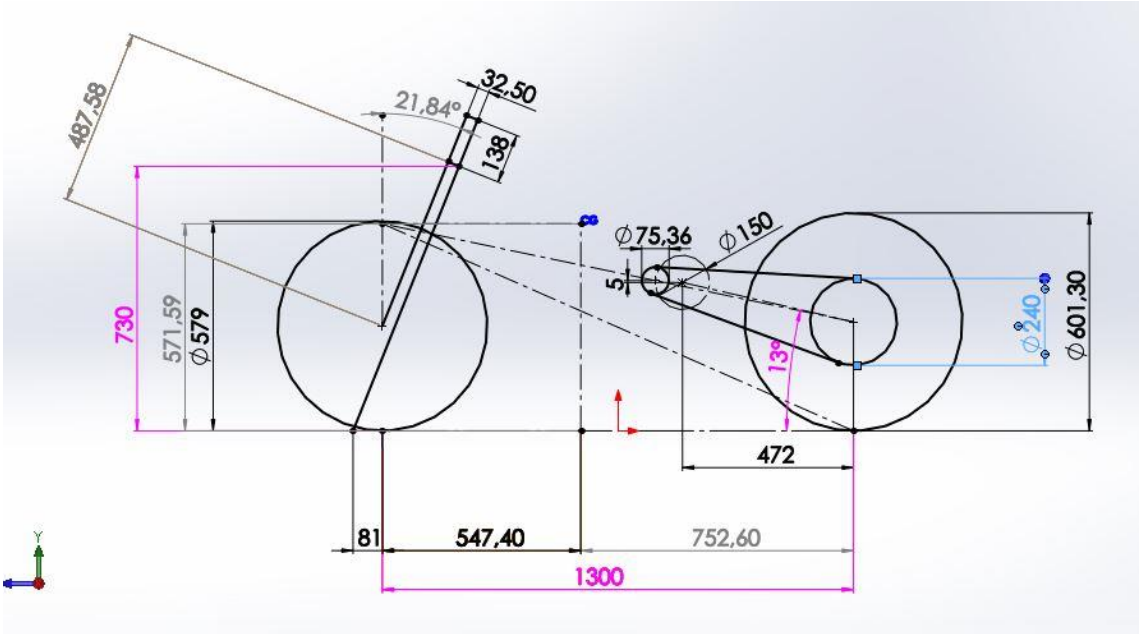


Ilustración 33:Análisis Squat MS2

Este estudio, como ya se aclaró previamente, se realiza con la motocicleta en estático y sin piloto, solo con la gravedad. Por lo tanto, a pesar de que parece que la relación no será desfavorable, no podemos asegurar de forma rotunda que no se sobrepase.

3.2.9-Rigidez del chasis:

Durante la fabricación del chasis adecuado a nuestros propósitos, no solo hay que elegir el mejor compromiso entre los distintos parámetros geométricos. Si el chasis no es lo suficientemente rígido para mantener la geometría deseada, los cálculos no tendrán ninguna relevancia.

Durante el movimiento son muchas las fuentes de tensión, flexión y torsión que se producen y estas deben ser minimizadas para garantizar un buen comportamiento. Hay que destacar la necesidad de mantener el alineamiento de los planos medios de las ruedas y el eje de la dirección, de no ser así, la estabilidad direccional empeorará y la moto tenderá a mover la dirección. El tren más importante es el delantero, donde este alineamiento de planos lo proporciona en gran parte, la rigidez lateral de la horquilla y la rueda.

Las horquillas telescópicas soportadas por una pipa de dirección convencional también carecen de rigidez en un plano longitudinal; el momento más crítico es en la frenada, cuando diseños poco rígidos pueden dar lugar a temblores y rebotes de rueda. En una conducción normal, la rigidez torsional entre manillar y el eje de la rueda no suele ser un gran problema, exceptuando quizá, las motos de trial y motocross.

Mantener la rueda alineada con el eje de dirección implica no solo rigidez lateral en la rueda, sino también la rigidez lateral y torsional del chasis y del basculante.

3.3-Dimensionamiento:

Siempre con el objetivo de crear un prototipo con el mejor comportamiento posible a todos los niveles, se deciden una serie de valores que se consideran óptimos para conseguir el comportamiento dinámico deseado, aunque por razones de proyección estas cotas se han debido de ir modificando hasta obtener el caso dinámico que consideramos óptimo dentro de las imposiciones físicas de nuestro prototipo. Estos valores de dimensionamiento serian:

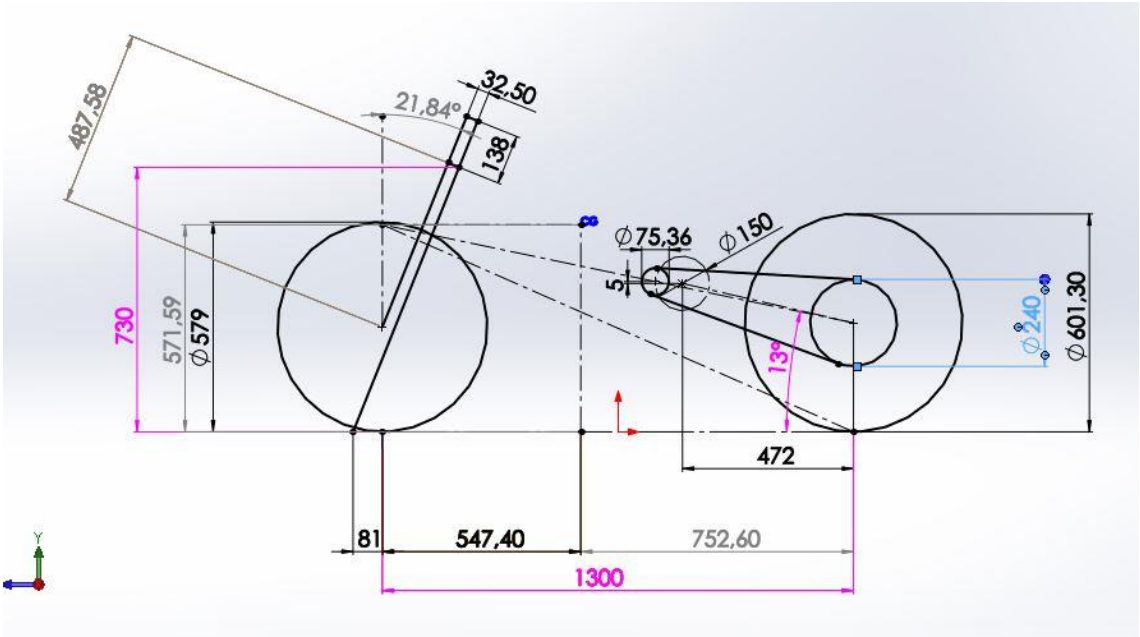


Ilustración 34: Layout de diseño MS2

Tabla 3:Cotas de diseño MS2

Parámetro	*Valor*	*Tolerancia*
Distancia entre ejes	1300	+-30mm
Angulo de dirección	21.84º	+-1º
Avance	81	-+1
Excentricidad	32.5	+-0.5
Longitud basculante	500	+-40mm
Angulo basculante	13º	+-0.5º
Ø Rueda delantera	576	-
Ø Rueda trasera	601.3	-

Desde el primer momento se decidió optar por realizar una moto ágil y dinámica en curva. Dado que nuestro motor es impuesto y no desarrollara demasiada potencia (lo que nos impedirá conseguir altas velocidades) vimos más oportuno intentar hacer que la moto se desenvolviese mejor en los trazados curvos, con el fin de intentar reducir las frenadas, consiguiendo así una velocidad media total más alta a cambio de no hacer una moto tan estable en recta pero que tenga que frenar para entrar en curva puesto que esa ventaja ya partiendo de la base no la tenemos. Dicho esto, podemos ver que intentamos ser bastante radicales en las cotas de avance y ángulo de dirección donde vamos a mínimos. Por contra la distancia entre ejes es más parecida a la de una moto 2 que a la de una moto 3, aunque esto parecería ir en contra del concepto de moto ágil que iba comentando; por un lado, no queríamos ser demasiado radicales en todos los parámetros y por otro lado diversas variables constructivas dificultaron en gran medida disminuir esta medida más del parámetro fijado. Aun así, si intentamos comparar nuestro modelo fijándonos en el peso del prototipo no estaríamos muy distantes de una Moto 2. Por otro lado, optamos por una excentricidad corriente usada en competición y un basculante corto con un ángulo de dirección pequeño también para positivar el anti-squat y no tener sorpresas con la geometría de tracción. Nuevamente sorprenderá un centro de gravedad tan alto y no colocar este lo más bajo posible; tras consultar con diversos especialistas en la materia llegamos a la conclusión que un centro de gravedad más bajo crea una moto más dulce y fácil entrar en curvas pero por el contrario un centro de gravedad más alto crea un giro más brusco pero también incrementa la capacidad de realizar más giro con lo que acentuamos la agilidad del prototipo tal y como nos fijamos en el concepto de nuestro prototipo.

3.4-Proceso de diseño:

En este apartado se explicará de manera cronológica, el proceso seguido hasta llegar al diseño final. No quiero decir que este orden sea el adecuado ni el correcto para crear un bastidor (ni siquiera que no lo sea), pero quiero hacer hincapié en que en nuestro caso hubiese sido imposible llegar a algunos de los conocimientos alcanzados o incluso al diseño final si los acontecimientos no hubiesen transcurrido de esta manera.

3.4.1- Diseños actuales:

Bastidores actuales en competición:

En primer lugar, para poder escoger como se realizará nuestro prototipo, decidimos centrarnos en los diversos tipos de bastidor existentes que se utilizan a día de hoy en competición para poder realizar una solución al nivel de la técnica actual. Una vez examinados los diferentes tipos más utilizados en competiciones con similitudes en peso y potencia a la nuestra, nos decantamos por los dos tipos más corrientes: el bastidor de doble viga y el multitubular.

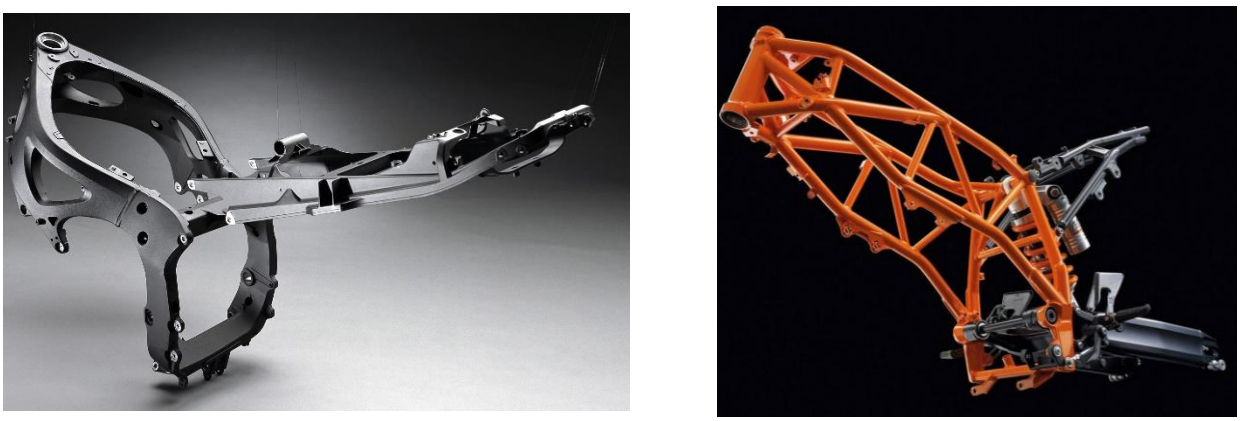


Ilustración 35: Bastidor doble viga y multitubular

Criterios de elección:

El siguiente paso era pues conseguir descifrar cuál de los dos, en todos sus aspectos, era más adecuado para nuestro caso. Para ello, nos centramos en diferentes aspectos de comparación con la finalidad de llegar a la conclusión de cuál de las dos era mejor que el otro o solventaba mejor nuestras necesidades. Esta conclusión era muy difícil de alcanzar, puesto que la técnica de los dos bastidores está muy optimizada en el mercado actual y presentaban unas características muy similares,; las diferencias que presentaban simplemente mostraban que

las carencias que presentaba uno por un aspecto las ganaba por otro diferente. Con esta información no acabábamos de llegar a ningún puerto, por lo que decidimos que el siguiente paso fuese la elección de bastidor simplemente por otros aspectos, como pudiese ser fabricación, presupuesto o funcionalidad ya que las características técnicas no nos ayudaron demasiado.

3.4.2-Propuesta de diseño innovador:

Tras tomar la decisión de buscar una alternativa a los bastidores existentes, el reglamento de la competición presento un cambio importante en el diseño de la motocicleta. La suspensión delantera (parte fundamental para la dinámica del vehículo) pasó de ser un elemento acotado y prácticamente invariable a un elemento de creación totalmente libre dentro de unos parámetros (explicados dentro del anexo del reglamento de la competición). Es ahí donde se cambia de actitud respecto al bastidor y nace la idea de crear un bastidor diferente e innovador que se adapte más a nuestras condiciones, puesto que en ese momento se pretendía realizar una suspensión alternativa (la cual se desestimó más tarde por diversas razones sin importancia para este trabajo), aun sabiendo que quizás perdíamos fiabilidad de diseño por realizar algo inédito hasta el momento.

3.4.3- 1r Diseño:

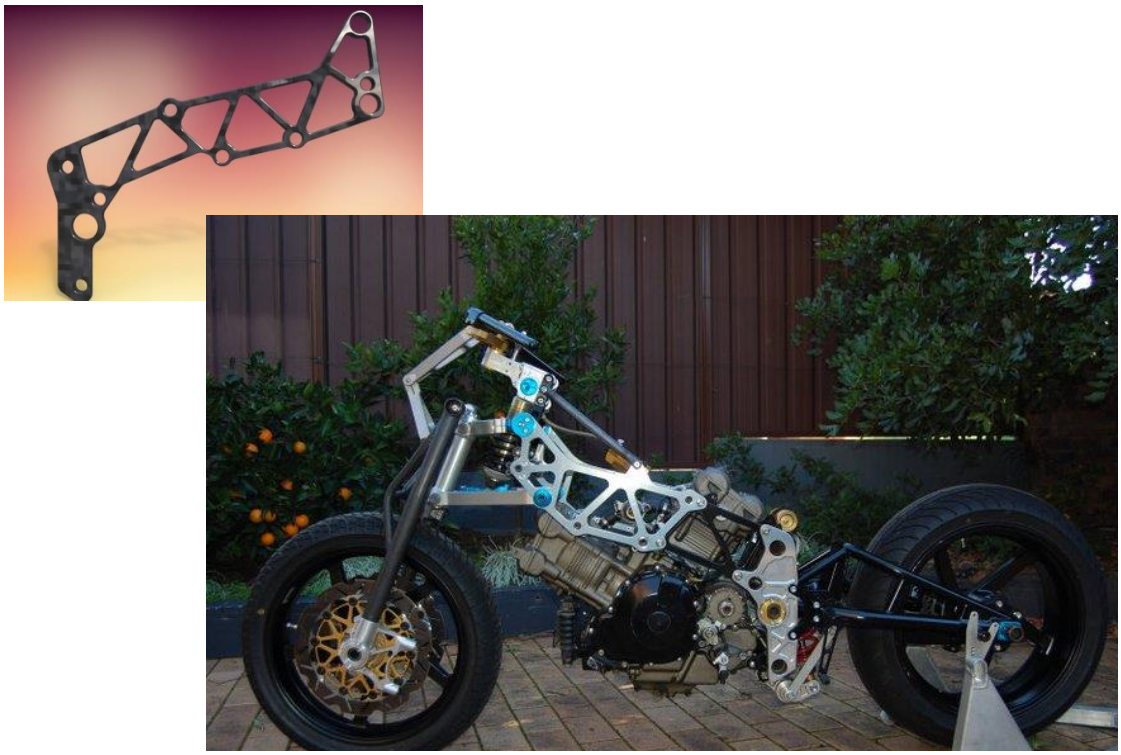


Ilustración 36: 1r Pre-diseño y prototipo de inspiración

La nueva idea fue entonces fusionar los dos bastidores hasta ahora a la vanguardia de la técnica y si se pudiera, conseguir un diseño algo más fácil de fabricar, lo que supondría una mejora desde el punto de vista económico. Tras una exhaustiva búsqueda en internet sobre bastidores alternativos y aportaciones de ideas propias en aspectos muy variados conseguimos centrarnos en una pieza realizada previamente por el italiano "Mricci", aunque que nosotros sepamos a día no se ha puesto a rodar. Esta estructura parte en dos piezas el bastidor y sigue con la línea del de doble viga creando dos vigas principales sobre las que apoyar todo el conjunto moto-piloto y triangula el material optimizando el peso de manera muy similar al multitubular. Fue entonces cuando decidimos de todas a una perseguir esta línea y crear nuestra propia versión de este tipo de bastidor al cual podríamos denominar bastidor de doble celosía. Además, esta motocicleta igual que nuestra idea en ese momento presentaba una suspensión alternativa tipo hossack lo cual nos añadía incentivos para realizar un diseño similar o siguiendo esta filosofía.

Aquí llega pues nuestro primer prototipo basándonos mucho en el de Mricci. Aun así, nuestro concepto fue diseñar la estructura de manera plana para reducir al máximo los supuestos costes de fabricación además de cambiar el material utilizado por fibra de carbono (Cosa que daba más sentido a la necesidad de crear un diseño plano) ya que supondría solo la mecanización de una placa de fibra de carbono de la cual sacaríamos las dos piezas principales para crear esta estructura.

Tras realizar el primer prototipo, rápidamente surgieron las primeras dudas y problemas, como si la orientación de las fibras de carbono supondría una gran disminución tanto de la rigidez del conjunto como de sus propiedades mecánicas. Así que, tras una primera iteración, nos disponemos movilizarnos para resolver estas dudas y pensar cómo queremos que realmente funcione o trabaje la pieza; así diseñaremos a partir de esa premisa principal.

Después de darle muchas vueltas a al funcionamiento deseado de la pieza, vemos con claridad que el momento con más solicitaciones es la frenada (Ya que el arranque desde cero solo se produce una vez y, aun así, la frenada es más delicada) por lo tanto la dirección longitudinal de la moto deberá ser el eje rígido de la moto y por lo tanto el que atraiga y aguante el máximo de tensiones posibles con la mínima deformación. Sera el diseño el encargado de que en ese eje no se produzca un momento flector demasiado grande como para romper la estructura. En cambio, en el eje perpendicular a este y paralelo al suelo se desea que la moto sea más flexible pero no será fácil decidir cuánto, es por esta razón que se decide proporcionar un elemento extra que ancle las dos partes laterales del bastidor y proporcione una rigidez variable, pudiendo así adaptarnos a las condiciones externas más favorables.

3.4.4- 2º Diseño:

Tras consultar con diferente personal docente y trabajador de la fibra de carbono se consigue ver que la solución planteada inicialmente no es suficientemente eficiente en su diseño con este material ni mucho menos, pues la triangulación que en el diseño de la pieza de aluminio sirve para restar, pero en este diseño contraria la longitud de las fibras y por lo tanto reduciría

en gran medida las propiedades mecánicas de la estructura. La siguiente solución pues pasara por diseñar la estructura de tal forma que las direcciones principales de las fuerzas se correspondan a la dirección axial de las diferentes barras que forman la estructura, de tal manera que todas estas trabajen a tracción o compresión tal y como debería ser. Por contra, tanto los puntos donde se intersectan estas barras como los puntos de unión, deberán de añadirse más capas de fibra de tal manera que seamos capaces de solventar el problema de solape de fuerzas en distintas direcciones, lo que nos desconcierta en el hecho de conocer o concretar cuál será la resistencia o rigidez final de la estructura sobretodo en esos puntos.

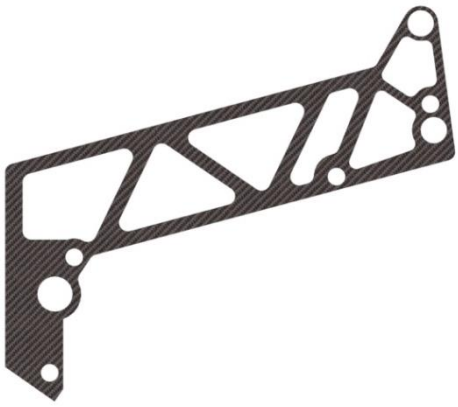


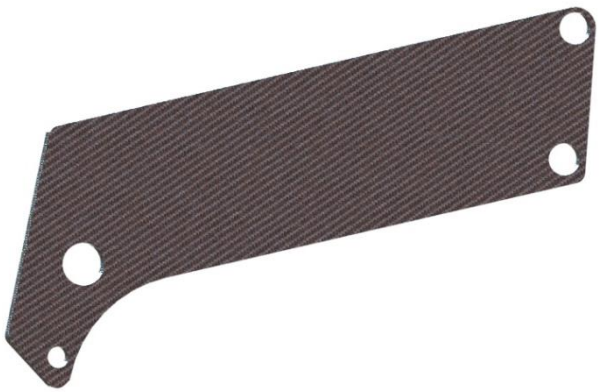
Ilustración 37: 2º diseño bastidor

3.4.5- 3r Diseño:

Puesto que esta solución aun parece ser demasiado ineficaz y tras la complejidad que resultaba la fabricación de dicho elemento además de ser costosamente elevado, pensamos que la retirada de la principal estructura triangulada rebajaría tanto el coste del mecanizado de la pieza como la complejidad de diseño y fabricación además de aumentar la eficiencia de la pieza favoreciendo una correcta distribución de fuerzas en toda el área de esta.

Fue en este momento, en el que finalmente habíamos de decidir en qué categoría de la competición inscribirnos, cosa que no habíamos aun acabado de concretar. Esta fue una

Ilustración 38: 3er diseño bastidor



decisión difícil de alcanzar y que nos llevó bastante tiempo pero que decidimos entre los doce, llegando a la conclusión de que inscribirnos en la categoría eléctrica (aun conociendo la gran dificultad de este hecho) nos supondría cosas positivas que inconvenientes. Ante la falta de referentes, información y el desconocimiento de realizar un prototipo de estas características, tuvimos que volver a empezar y replantearnos todo el diseño desde cero, pues, aunque a primera vista no lo parezca, este cambio de concepto modifica por completo la concepción del prototipo y por lo tanto su diseño y fabricación. Fue en este punto cuando se descartó la utilización de la suspensión delantera alternativa y donde se optó por volver a la etapa de plantearse que era más relevante para la realización del bastidor para nuestro prototipo eléctrico.

3.5-Diseño Final:

Para comenzar este punto, me gustaria hacer un pequeño resumen de las caracteristicas básicas de la motocicleta citadas anteriormente para poder vislumbrar mejor las decisiones tomadas hasta alcanzar este diseño:

Ilustración 39:Vista del diseño final del prototipo MS2

- Prototipo de motocicleta electrica.
- Suspensión delantera de tipo convencinal.
- Integración de cambio de marchas.
- Necesidad de albergarun gran volumende baterias.

Además de las razones más puramente constructivas que el bastidor ha de cumplir, existen otras de tipo conceptualo de carácter impuesto por nosotros que este se desea que cumpla, algunas de ellas serían:

Se decide crear una moto agil, ya que por razones de reglamento se posee un motor no demasiado potente, asi obtendremos una motocicleta que se desenvuelva muy bien en las curvas. Como por imposición no obtendremos demasiada velocidad la idea es poder mantener la velocidad sin necesidad de descelerar en los virajes. Para ello se intenta realizar la moto lo más corta posible, pero existen dos dificultades principales a la hora de realizar este concepto de diseño. Poseemos el volumen de dos motores, ya que con el fin de conseguir más acceleración se añade un cambio de marchas adaptando un motor de explosión por las dificultades que supondria crear un dispositivo mecanico de estas caracteristicas. Por otro lado, se debe de albergar un gran volumen de baterias para que el prototipo aguante la carrera al nivel de exigencia que pretendemos realizarla. Por ello, y tras realizar los diseños previos se llega a la conclusion que el gran volumen poligonal que se presenta en forma de baterias juega un papel crucial en el diseño de la motocicleta (éste es un volumen tan grande que dependiendo de sus dimensiones el concepto de chasis se

modificara radicalmente para alcanzar los parámetros dinámicos que se han fijado). Así pues, se concluye que no se construirá una moto que albergue las baterías si no que prácticamente se proyectara chasis alrededor de esta pieza tan importante.

Albergar pues un gran volumen en forma de polígono es ahora una prioridad para nosotros, por este hecho e influenciados en motos como l*a Mission R de misión Motors* y sin alejarnos demasiado de los diseños realizados hasta la fecha, nos pareció buena idea separar esta vez el bastidor en cuatro partes diferentes. De esta manera, podíamos abrir al máximo la parte delantera consiguiendo albergar un gran volumen de una manera cómoda y sin desperdiciar espacio en el chasis. Esto se podía conseguir si la pipa de dirección se concebía como una pieza única muy abierta lateralmente y se podía mantener esa amplitud con dos estructuras laterales paralelas hasta conseguir cerrar el chasís con otro conjunto de piezas en forma de placas que soportasen y contuviesen los demás componentes. Estos últimos conjuntos de placas además de aportar rigidez al sistema nos permitirán regular la flexibilidad del prototipo de una manera más o menos sencilla sin tener que realizar dos chasis completamente diferentes.

Finalmente, llegamos a la conclusión que estábamos frente a un diseño de bastidor tipo Quad-frame similar al que diseño James Parker con la diferencia principal (entre otras) que nosotros nos disponíamos a realizarlo en fibra de carbono, cosa que a nuestro parecer, no se ha realizado hasta la fecha.

Ilustración 40:Bastidor Ms2 lateral

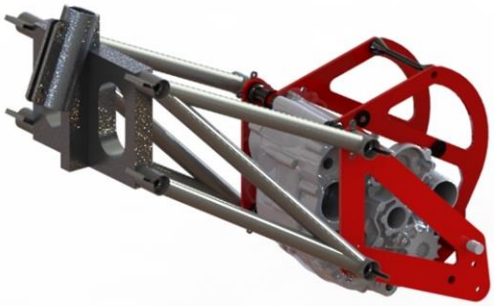


Ilustración 41: Bastidor Ms2 isométrico

3.5.1-Pipa de dirección:

Ilustración 42:Pipa de dirección

La pipa de dirección es la pieza que se encarga de conectar el tren delantero con el bastidor y por lo tanto aloja los rodamientos que permiten al tren delantero realizar su movimiento circular, el cual posibilita que la moto no se desplace únicamente en línea recta y pueda virar. En nuestro caso, se le incluye la función de abrir el chasis por la parte delantera por tal de albergar el máximo volumen de baterías de la manera más compacta posible, cosa que en los chasis convencionales es realmente complicado.

Es separando esta pieza de las demás partes de la estructura donde se consigue dar la gran amplitud de volumen a contener dentro del chasis sin perder rigidez. Por un lado, se crea una pieza muy ancha (en lo que a pipas de dirección se entiende) y, por otro lado, se acorta en la dirección de la marcha de la motocicleta posibilitando el contacto directo de la caja de baterías con la pipa. Esta pieza deberá de poseer el espesor suficiente para soportar las tensiones solicitadas sin apenas deformaciones. De esta manera también se adelantaría el centro de gravedad de la moto (hecho que afectara de forma positiva según nuestro concepto del prototipo).

Se hicieron dos propuestas principales para la creación de esta pieza, una de fibra de carbono y otra de aluminio. La pipa de fibra de carbono era una opción más fácil de fabricar para nosotros, puesto que las realizaciones de los laterales del chasis ya se hacían mediante este sistema y añadía la ventaja de poder operar o ajustar esta pieza con soldadura de fibra de carbono añadiendo así una rigidez desconocida pero controlada o con la posibilidad de aumentarla en caso de comprobar que esta fuese insuficiente. Por otro lado, la pieza de aluminio nos ofrecía más espacio debido a que está realizada a partir de piezas mecanizadas sin la triangulación que necesita la pieza en fibra de carbono y abría la posibilidad de crear un diseño muy sencillo de mecanizar y ensamblar si este no se realizaba de una única pieza.

Ilustración 44:Parte cilíndrica pipa

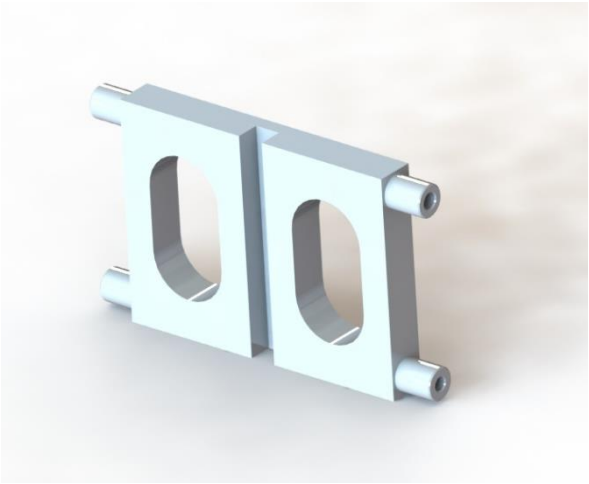


Ilustración 43:Parte plancha pipa

Esto nos llevó a decantarnos por esta solución ya que nos permitía establecernos dentro de los parámetros de Layout que consideramos adecuados. La última misión de esta pieza es la de transmitir los esfuerzos desde el tren delantero hacia los siguientes elementos del bastidor (las estructuras laterales tubulares) consiguiendo una integridad física y estructural en toda la motocicleta y consiguiendo una deformación mínima del chasis en el sentido de la marcha. La pipa de dirección deberá de permitir tanto poner y extraer los rodamientos de dirección como que la dirección gire mínimo 15º para cada lado además servirá como sujeción para algunos accesorios que no tendrán relevancia a lo que el chasis o su creación concierne. Se fabricará en aluminio 6063-T6, así garantizamos que se pueda soldar correctamente y sin perder unas buenas condiciones mecánicas.

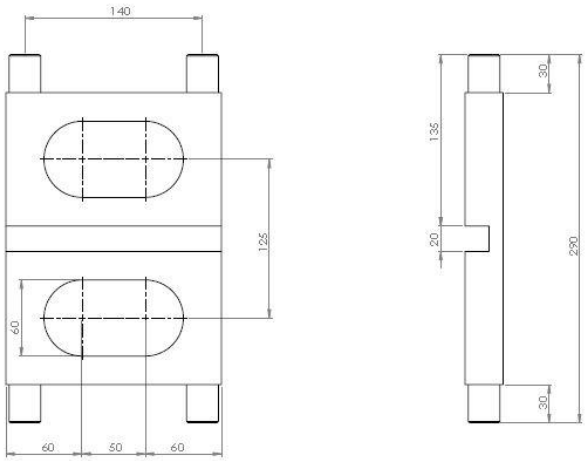


Ilustración 45:Cotas generales placa pipa

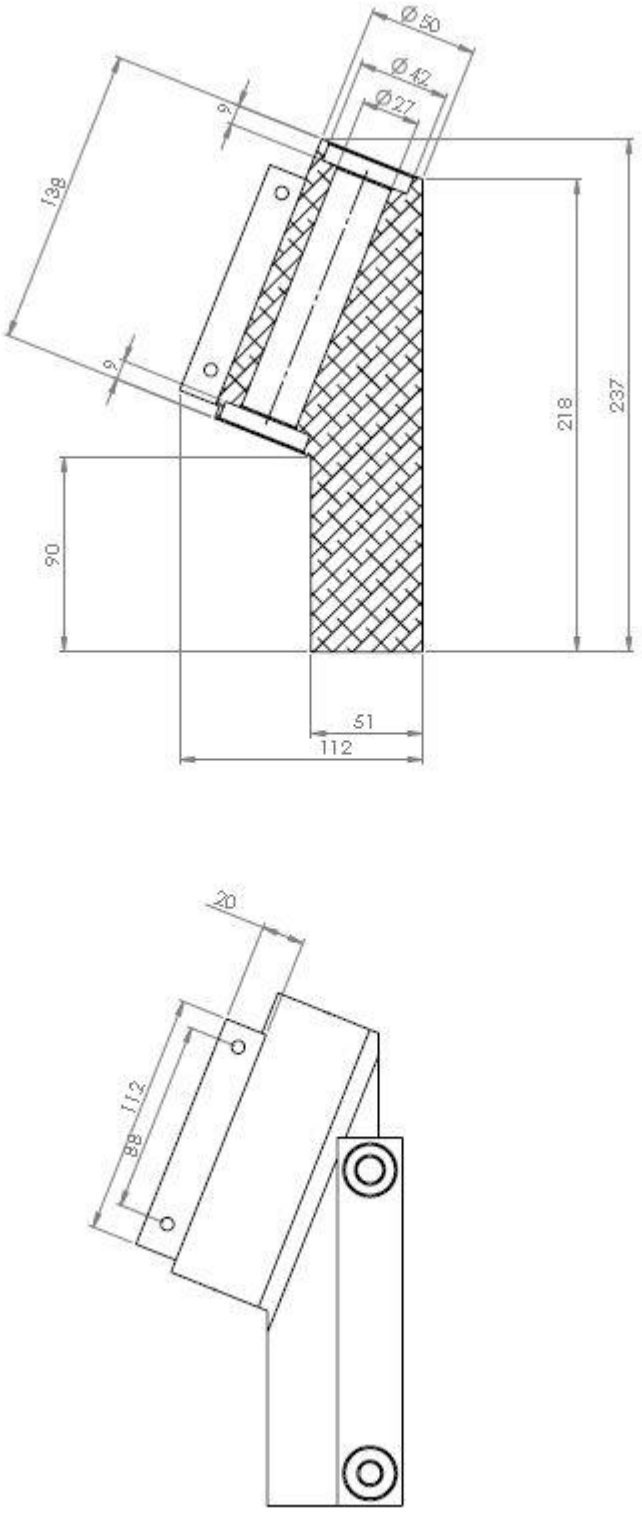


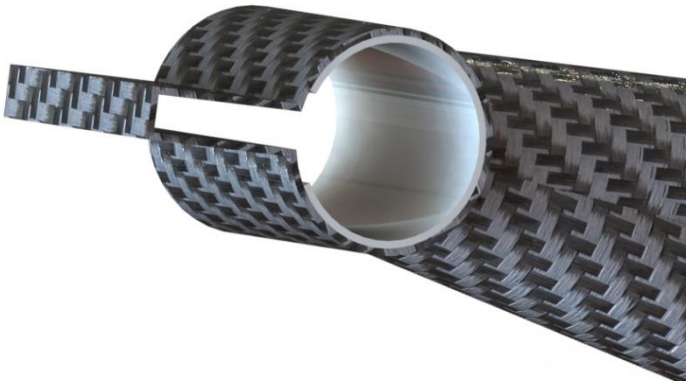
Ilustración 46:Cotas generales cilindro pipa

3.5.2-Estructuras laterales tubulares:

Ilustración 47:Estructura tubular lateral

Esta pieza o estructura soldada es la encargada de soportar todas las cargas y tensiones provocadas en el sentido de la marcha y transmitirlas desde la rueda trasera a la delantera y viceversa. Asimismo, se encarga de flexionar según eje vertical (con el suelo como referencia) y perpendicular al sentido de la marcha. La realización de esta pieza se realizará en fibra de carbono con las fibras direccionadas de manera que el 75% de ellas este a 0º y el 25% restante a +-45º. Se elige esta disposición de fibras para que la máxima tensión la soporte en el sentido axial y por lo tanto hacer que los tubos trabajen casi completamente a tracción compresión. Para corroborar o acompañar que las tensiones de los tubos trabajen el máximo como se ha concebido se diseña una sujeción deslizante en los extremos de las barras y no fija (como sería habitual) de tal manera que no se limitan los momentos en la fijación de las barras para que solamente se puedan producir fuerzas de tracción en esta pieza y utilizar asila máxima cantidad de fibras posible. Para evitar el giro de la estructura se crean dos triangulaciones de tubo, de manera que a cada banda de la estructura lleguen dos barras con cierta inclinación que acaben de formar un triángulo con la propia unión de la pieza adyacente.

Ilustración 48: Detalle unión estructura tubular



De esta manera se consigue una gran rigidez estructural en el sentido de la marcha que es el sentido. En cambio, en el sentido perpendicular o de giro aun teniendo cierta rigidez puesto que los tubos de fibra de carbono de por sí ya poseen una gran rigidez se comportarán de manera bastante flexible (Pues la inercia que puedan tener los tubos serán los únicos condicionantes a favorecer la rigidez en este plano) hecho que proporciona a la moto un "3er amortiguador", muy importante sobre todo cuando el prototipo este girando, posición en la que solo el neumático se encarga de realizar esa función y no siempre resulta suficiente. De esta manera, el piloto podrá resistir mejor cualquier condición externa en el momento de giro además de la transmisión de mejores sensaciones, cosa que puede evitar caídas y mejorar la estabilidad en curva. Para acabar de rigidizar en el sentido de la curva el chasis se utilizarán otros componentes detallados a posterior.

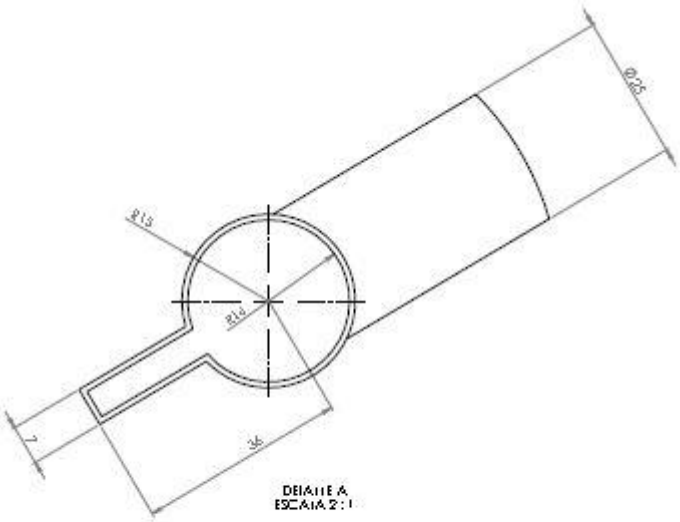


Ilustración 49:Detalle cotas tubo transversal

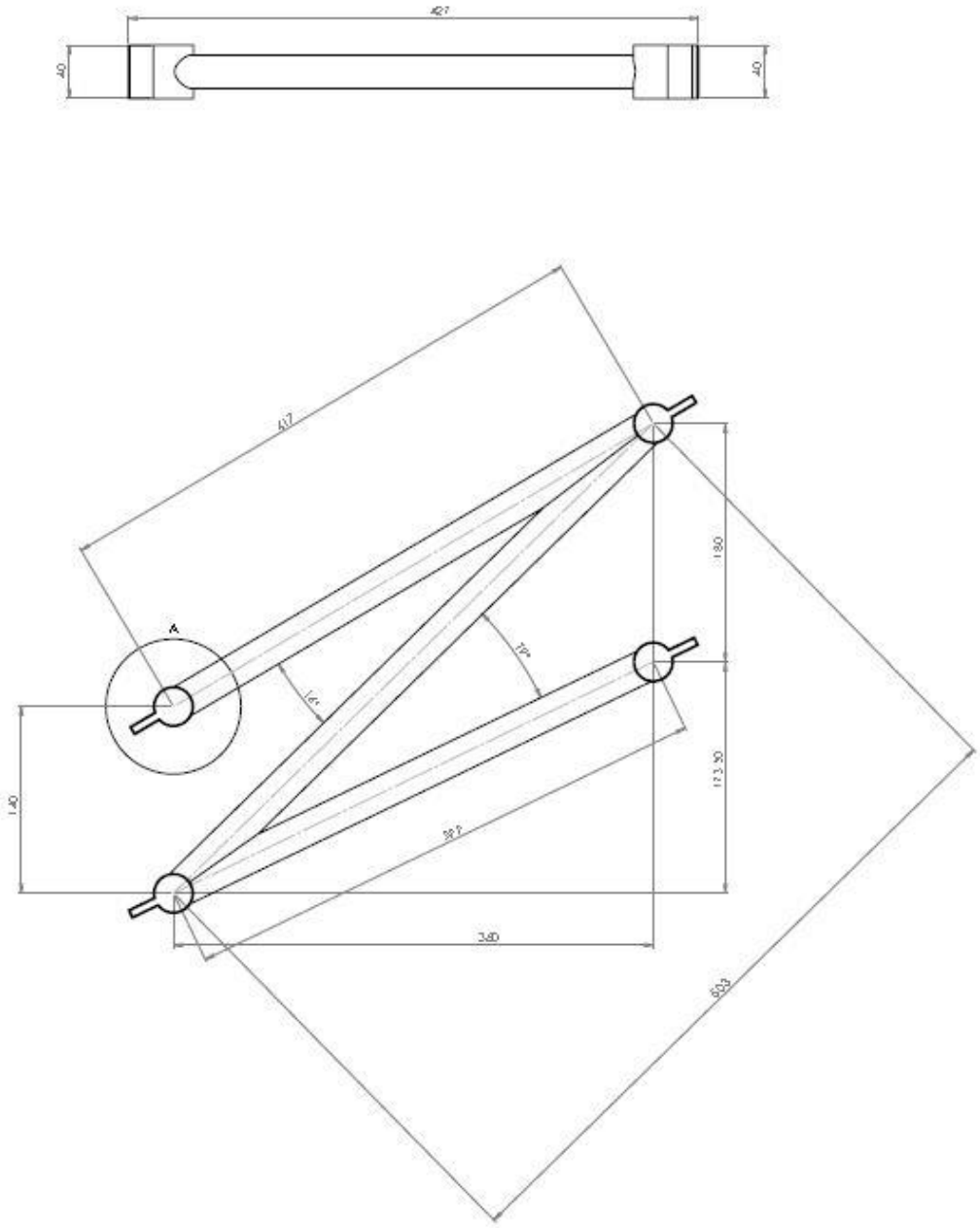


Ilustración 50:Cotas general estructura tubular

3.5.3-Soportes motor:

Ilustración 51:Conjunto estructural de soportes motor

Los soportes de motor como su propio nombre indica se encargan tanto de soportar el peso del motor eléctrico y unirlo con el cambio de marchas (al cual por aspecto también se le podría llamar motor), como de crear el nexo entre bastidor y basculante además de dar soporte al anclaje de la suspensión trasera y crear un ensamblaje totalmente rígido entre el motor eléctrico y el cambio de marchas.

Aunque no lo sea en su totalidad, podemos decir que el cambio de marchas cumple una función estructural, pues sin este elemento no se tendría correctamente en pie la motocicleta. Por la dificultad de afinar en el posicionamiento de los anclajes del cambio de marchas que ya existen en la propia pieza, se decide realizar los soportes en placas planas de manera que resultara más sencillo apurar en las medidas necesarias Por razones constructivas resulto imposible utilizar el propio eje de pivotamiento del basculante para realizar dicho fin. Por lo tanto, para esta misión se creó una prolongación de la caja de cambio que diese lugar a poder anclar el basculante. Una vez diseñada esta pieza se le añaden las funciones de anclaje del motor eléctrico (el cual llegara a anclarse a esas placas con otras dos placas propias diseñadas para ese fin) y soportar el anclaje superior de la suspensión trasera, de esta manera se pone solución a tres problemas de diseño diferentes con una sola pieza.

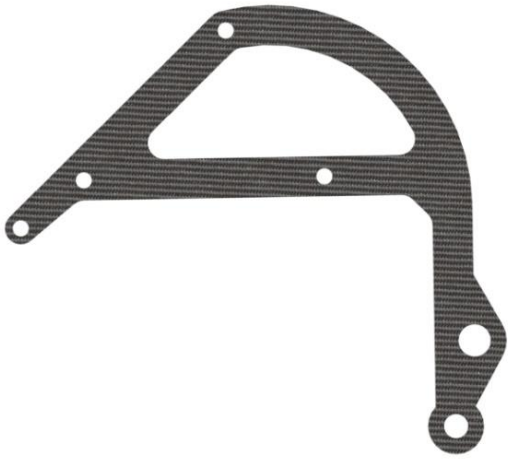
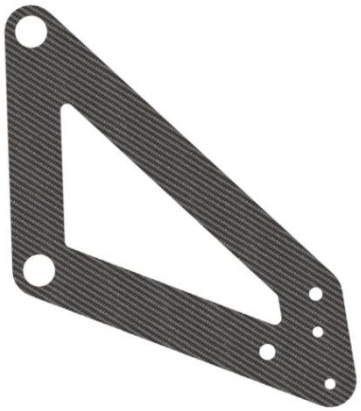


Ilustración 52:Placa lateral unión Bastidor-Basculante

Pero la solución anterior por sí sola no aportaba la suficiente rigidez en una de las uniones más importantes: Bastidor-basculante. Así que se crea un elemento más que une, una vez más, el bastidor con el basculante, pero esta vez ensamblamos la nueva pieza por la parte exterior para evitar solidificar y rigidizar al máximo el conjunto y evitar así cualquier deformación indeseada. Asimismo, se utiliza también esta pieza para añadir los anclajes de las estriberas.

Ilustración 53:Placa lateral exterior



Para unir todas estas piezas, que están separadas lateralmente, se realizan un conjunto de casquillos con la máxima superficie de contacto posible para mejorar la sujeción tanto de los casquillos como de las placas y que acoplen cada una de las piezas formando un conjunto rígido, aunque divisible.

Ilustración 54: Conjunto motor completo

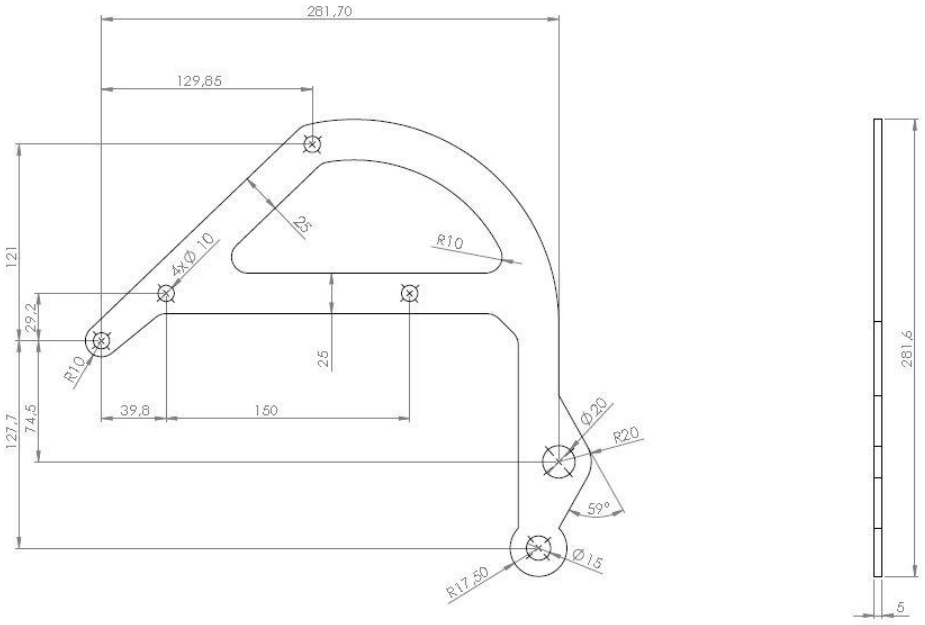


Ilustración 55:Cotas generales placa bastidor-basculante

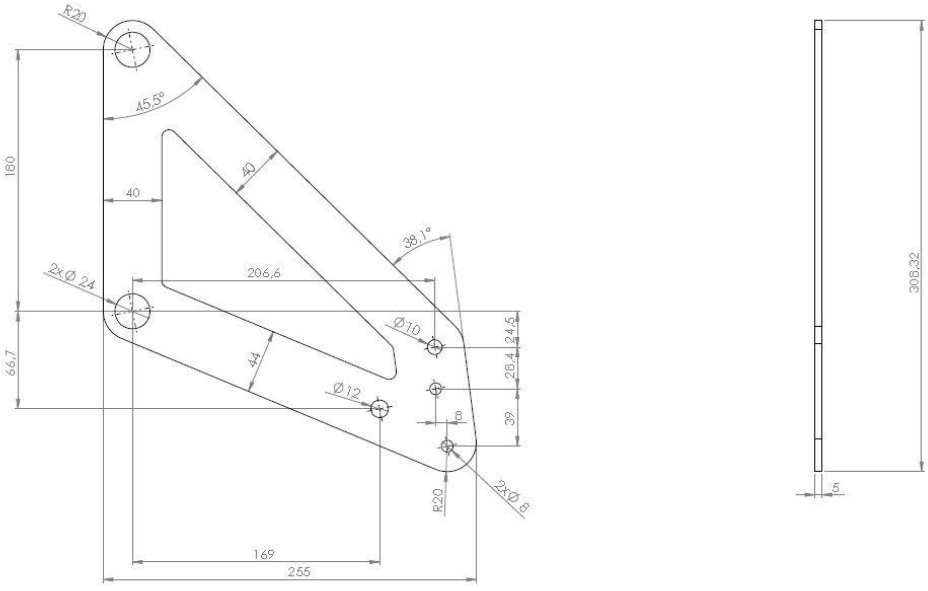


Ilustración 56:Cotas generales placa exterior bastidor

4.0-Modelización y cálculos:

Los cálculos y simulaciones que se realizarán a lo largo de este apartado son estimaciones aproximadas. De igual forma que el conjunto y sus piezas, todas las simulaciones se realizarán con el programa SolidWorks 2016 en su modo simulación y serán para situaciones estáticas en circunstancias concretas.

Con el fin de evaluar el bastidor se estudiarán dos casos extremos, en los que el bastidor sufrirá las tensiones más elevadas. Estos dos casos serán paso por curva y frenada máxima. En estas situaciones los esfuerzos son completamente diferentes, mientras en el primero en el conjunto sufre una flexión en este mismo sentido en el segundo sufre una gran compresión de forma axial al sentido de la marcha.

En las simulaciones que se realizaran en el siguiente apartado se considerará:

- Se simulará cada una de las piezas del bastidor como elemento único e indivisible.
- Se considerará el conjunto de la caja de cambios como elemento indeformable. Se considera válida esta consideración debido a que dicha caja de cambios está diseñada para una moto de enduro donde esta sufre más tensiones y de forma más dispar, por lo que se garantiza una elevada rigidez estructural.
- A causa del punto anterior, en las simulaciones se considerarán puntos sin translación todos los que estén en contacto con dicha pieza.
- Las simulaciones realizadas en SolidWorks se realizarán con un mallado lineal y/o tetraédrico. Este hecho proporciona un comportamiento isotrópico al material aplicado, sea este el que sea. Como la fibra de carbono es un material anisótropo el cual depende de la dirección de las fibras en el que este fabricada el elemento su comportamiento dependerá directamente dela disposición de este tejido. Se utilizarán las simulaciones SolidWorks solo de manera cualitativa y no de manera cuantitativa.
- Para el caso de las piezas tubulares del bastidor los principales esfuerzos que se sufren son tracción/compresión, flexión y torsión en este orden de importancia. Se valorará una distribución básica con fibras a +-45º y una distribución ideal del 75º a 0º y el 25º restante a +- 45º. Con esta última configuración se puede asegurar que, pese a no ser un material anisótropo, las simulaciones en esta calidad son admisibles debido que a la forma que trabaja la estructura la gran mayoría de tensiones las soportaran las fibras colocadas a 0º.
- En las propiedades del material se aplica fibra de carbono Thornel Mat VMA y se cambiara el límite elástico por el de la fibra, aplicando 570MPa.
- Para las piezas de aluminio se considerará un aluminio 6063-T6 con un límite elástico de 235 MPa.

.

4.1-Evaluación de triangulación de barras:

Con el fin de posicionar las barras de la mejor manera posible, es decir, de forma que las tensiones soportadas por el bastidor se repartan lo más equitativamente posible aprovechando así toda la capacidad resistiva del material. Se prevén dos triangulaciones a partir de las que se simulara una fuerza cualquiera para ver el comportamiento de las dos estructuras.

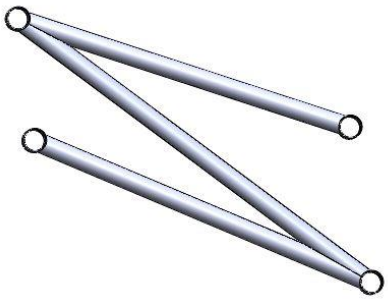


Ilustración 58: triangulación nº1

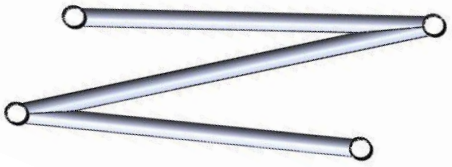


Ilustración 57: Triangulación nº2

Una vez comprobada la manera de trabajar de cada uno de los bastidores se decide que la triangulación óptima entre las dos descritas es la numero1, pues la distribución de cargas es más uniforme e igualmente las cargas que se provocan son menores.

Ahora que se ha fijado la forma del bastidor procedemos a realizar las distintas simulaciones con fuerzas reales, de manera que, aunque las simulaciones no sean cuantitativas si podamos hacernos una idea cercana de como esta de cerca o lejos el material a trabajar dentro de las condiciones de contorno e imposiciones marcadas por el equipo MotoSpirit a la hora de ensayar cada uno de los componentes.

4.2-Paso por curva:

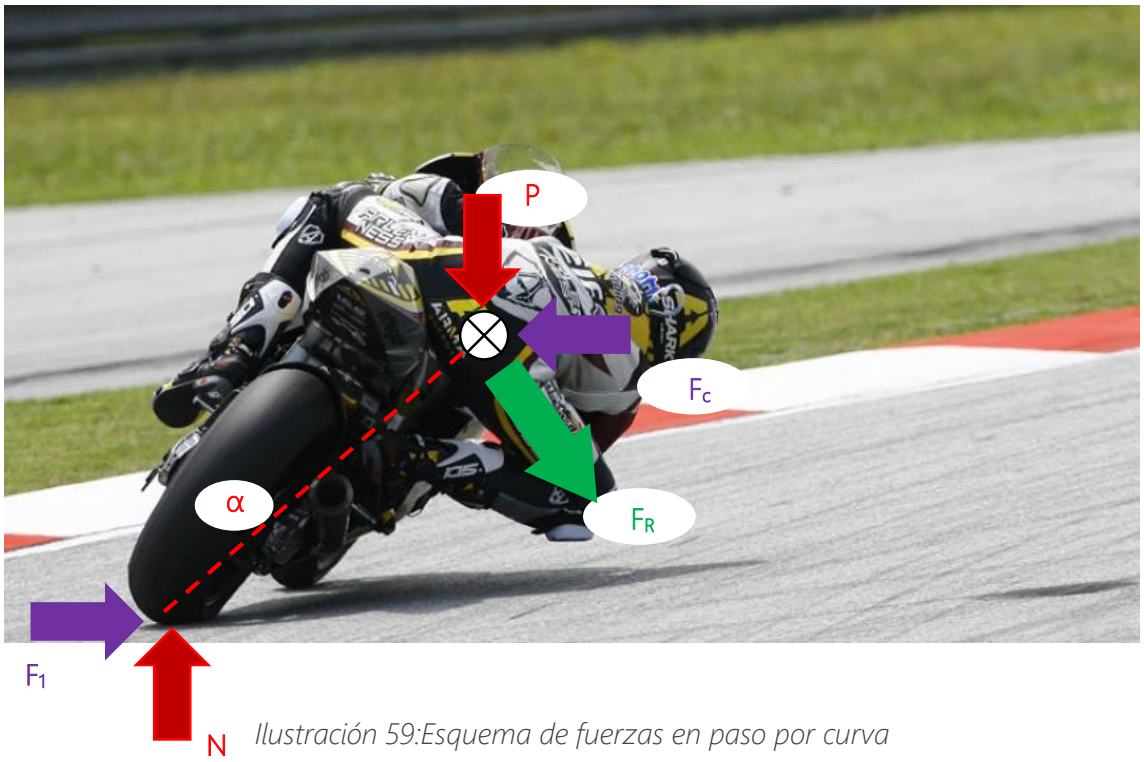


Ilustración 59:Esquema de fuerzas en paso por curva

Para realizar este cálculo se tendrán en cuenta los siguientes datos de partida:

1. Se considerará un paso por curva donde el piloto deja correr la moto, es decir sin acelerar o frenar (este suceso suele ocurrir al final de la entrada en curva).
2. Se realizará el cálculo pasando la moto por la última curva del trazado nacional del circuito Alcañiz (radio aproximado 172m) a una velocidad de 100km/h.
3. El neumático es plano.
4. El ángulo aplicado será de α=45º.
5. Peso de la moto: 130Kg.
6. Peso del piloto (ha de poder llevar la moto un percentil del 95% de la población): 70Kg

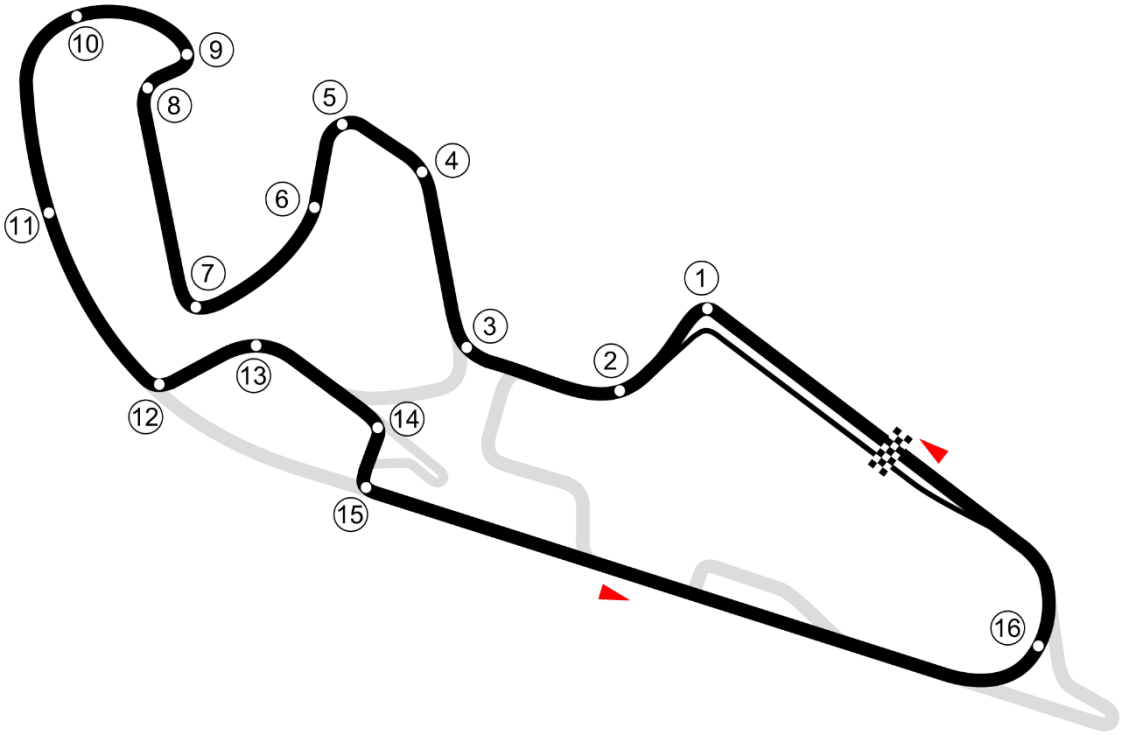


Ilustración 60: Circuito Motorland de Alcañiz

Considerando que la curva número 16 del plano del circuito de Motorland es la curva más pronunciada y a la vez más veloz de todas, nos centraremos en sus características para realizar los cálculos de paso por curva puesto que será la situación más desfavorable de paso por curva que se realizará durante el evento de la competición

4.2.1-Calculos de paso por curva:

Para obtener Fuerza resultante se necesitará antes calcular la fuerza centrífuga tal y como podemos observar en la Ilustración 59:Esquema de fuerzas en paso por curva siendo Fc la fuerza centrífuga:

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot (\frac{v}{r})^2 \cdot r = 200 \cdot (\frac{100}{3{,}6 \cdot 172})^2 \cdot 172 = 897{,}22N$$

Conociendo

$$P = 200 \cdot 9{,}81 = 1962N$$

Una vez calculados todas las incógnitas previas, obtenemos la fuerza resultante y conociendo

$$F_r = P \cdot cos\alpha - F_c \cdot cos\alpha = (P - F_c) \cdot cos\alpha = (1962 - 897{,}22) \cdot cos45 = 752{,}9N$$

A los cálculos se le aplicara un factor de seguridad de 1:

$$F_R = F_r \cdot 1{,}5 = 1129{,}35N$$

4.2.2-Simulación de paso por curva:

Como se ha explicado en la introducción se fijarán los 4 puntos posteriores sin permitir ningún movimiento y se aplicará una fuerza en la pipa de la dirección provocada en el eje de la rueda. La fuerza será de 1129,35N aplicada en el eje de la rueda simulando que toda la carga provocada en la rueda se transmite directamente a la horquilla (esto provocará un pequeño aumento de las cargas creando cierto factor de seguridad añadido). Para las conexiones entre piezas se considerará una conexión totalmente rígida entre las dos partes de la pipa de dirección, en cambio para las estructuras laterales se conectarán los anclajes mediante unión por expansión (o unión por apriete) con un coeficiente de fricción entre aluminio y aluminio de 1,1 y una restricción de represión de la penetración entre cara interna del tubo y externa de la pipa. De esta manera se consigue que las piezas se desplacen siempre en conjunto y se transfieran las cargas de la manera correcta.

El espesor delos tubos de la simulación es de 2 mm para los tubos axiales de Ø25 mm y de 1mm para los tubos de sujeción transversales de Ø30mm.

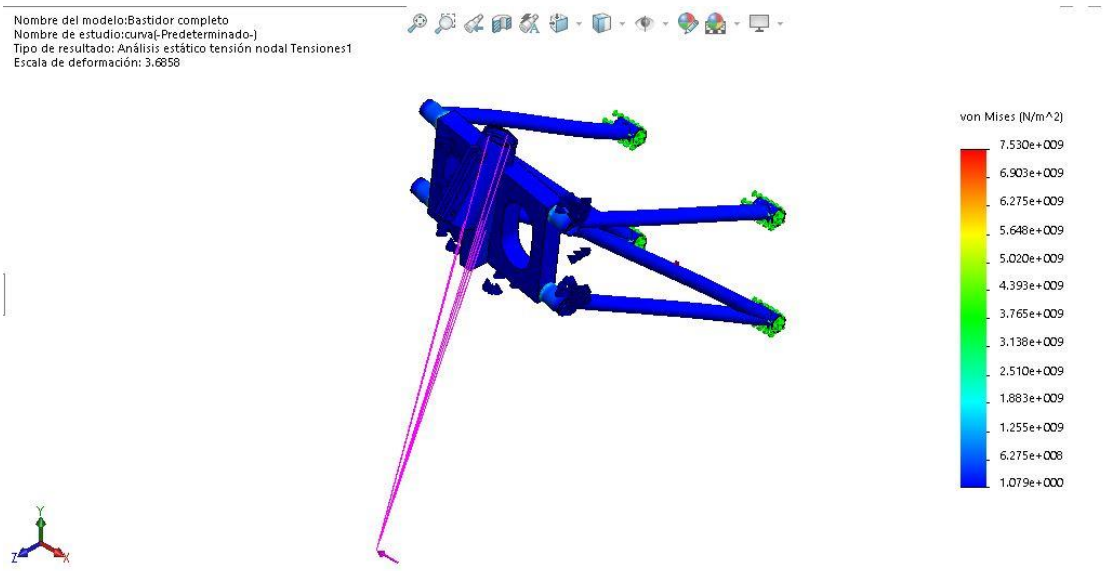


Ilustración 61: Simulación a flexión

Después de simular el paso por curva se deduce que no tendrá ningún peligro puesto que el 1 MPa está muy por debajo del límite de la fibra. Además, parece que toda la estructura aguanta de la misa manera todas las fuerzas únicamente es la conexión entre uniones donde crecen las tensiones desmesuradamente. Este hecho es debido a las conexiones sin penetración fijadas. Este hecho se puede solucionar aumentando la superficie de contacto entre dichas caras, pero en el caso real toda la cara en contacto de expansión sería el que debería de trabajar para transmitirlas cargas sin que llegar estas caras colisionen (esto tensión

se crea por el desplazamiento desmesurado producto de la simulación sin horquilla como se explica a continuación).

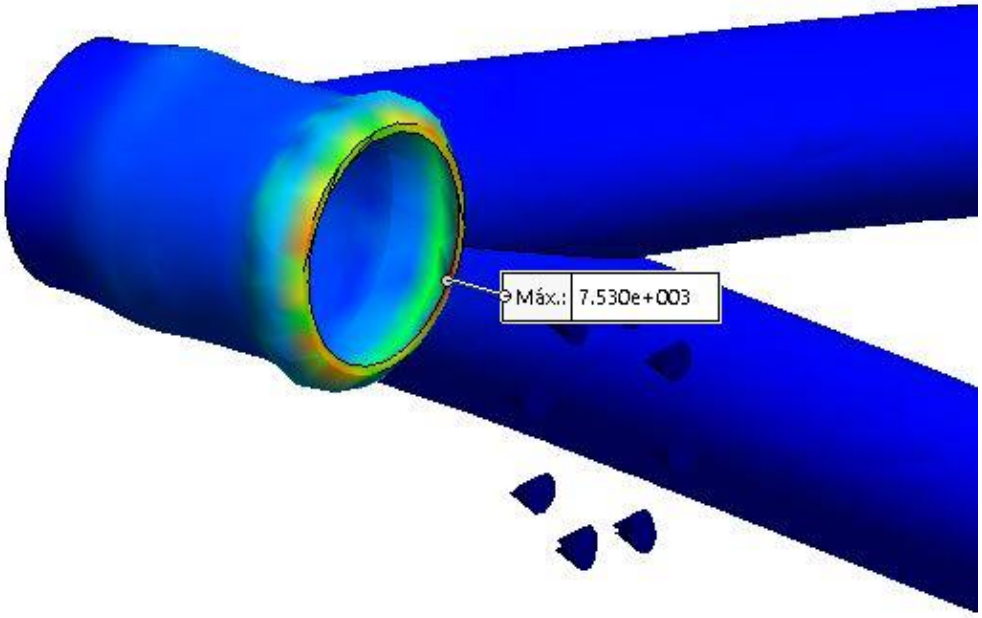


Ilustración 62: Detalle repartición de tensión en unión bastidor

Podemos comprobar que el punto con más desplazamiento es la parte inferior de la pipa sufriendo un movimiento de 13mm. Puede parecer mucho desplazamiento, pero considerando que la fuerza va a parar directamente a la pipa sin pasar por la horquilla (Parte que absorbe en gran medida este desplazamiento) es un movimiento dentro de lo esperado.

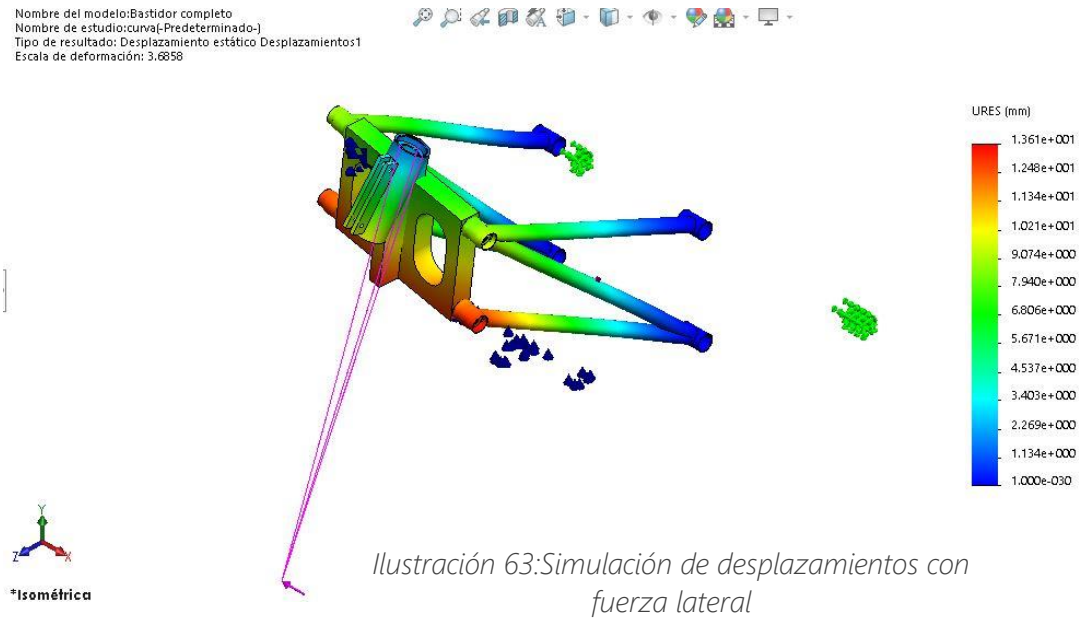


Ilustración 63:Simulación de desplazamientos con fuerza lateral

Podemos concluir por lo tanto que el paso por curva no es muy relevante o decisivo para el dimensionamiento de nuestro bastidor. Analizaremos ahora la frenada máxima, que debería de ser el caso de cargas más desfavorable.

4.3-Frenada máxima:

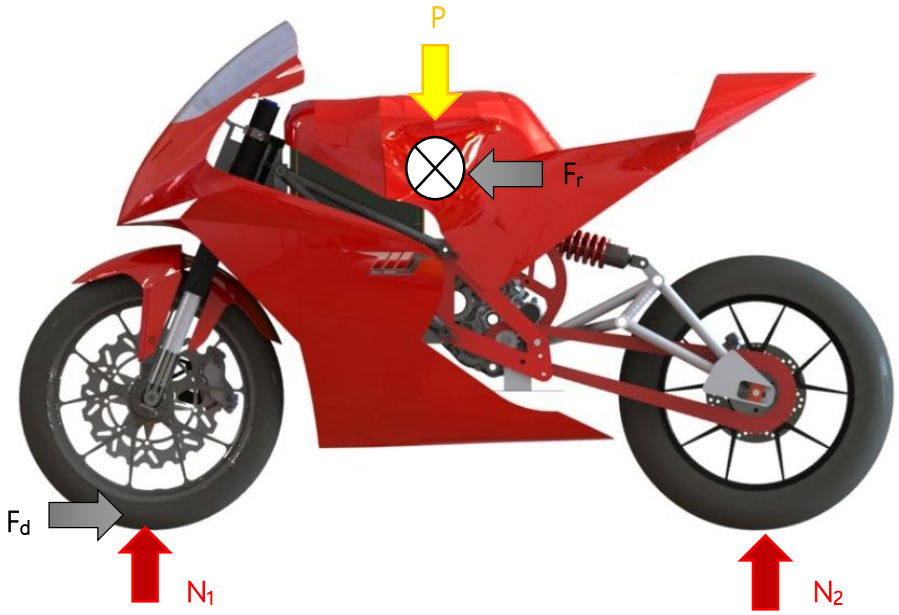


Ilustración 64:Esquema de fuerzas en frenada máxima

Como se ha comentado en la introducción, el momento de la frenada máxima es el punto donde el chasis de la motocicleta debería sufrir más esfuerzos. Aun así, tras los cálculos comprobaremos si el momento donde el bastidor sufre más es en la frenada o en curva.

4.3.1-Calculos de frenada máxima:

1. En el momento de frenada máxima, es justo cuando la rueda trasera pierde el contacto con el suelo, por lo tanto, todo el peso recae sobre la rueda delantera. En consecuencia, N_2 es nula.
2. Se han analizado varios artículos de revistas especializadas (Motociclismo, Moto1pro…) donde se evaluaba la capacidad de frenada de algunos modelos de calle. Observando que una CBR 1000 con ABS en frenada máxima obtenía una deceleración de 9.5m/s_2, para la realización de la simulación se estima una capacidad de frenada del prototipo de 1G.
3. Peso de la moto: 130Kg.
4. Aplicaremos el peso del piloto de unos 70kg aproximadamente (ya que es el peso por el que ronda nuestro piloto oficial).

$$P = 200 \cdot 9{,}81 = 1962N$$

$$F_d = M \cdot a = 200 \cdot 9{,}81 = 1962N$$

Considerando que estamos en la peor situación posible y siguiendo el esquema de fuerzas marcado anteriormente:

$$N_2 = 0 \rightarrow N_1 = N_2 = P = 1962N$$

Y, por lo tanto:

$$F_r = F_d = 1962N$$

A los cálculos se les aplicara un factor de seguridad 1,5:

Tabla 4:Desglose de fuerzas aplicadas en frenada al chasis

Fuerza	*Valor*	*Valor aumentado*
P	1962	2943
Fr	1962	2943
Fd	1962	2943
N1	1962	2943
N2	0	0

4.3.2-Simulación de frenada máxima:

Para la realización de la simulación volveremos a aplicar una fuerza remota en el eje de la rueda con efectos directos sobre la pipa de dirección, simulando que la horquilla es un conjunto rígido como sería el caso más desfavorable. Para facilitar los cálculos solo se tendrá en cuenta a fuerza F_d, considerando que en el caso real la fuerza normal aplicada en el neumático se consumiría en gran parte por la suspensión delantera y la parte restante crearía un momento contrario al que provoca la fuerza F_d. Actuando de forma positiva para el chasis, ya que la suma vectorial de estas fuerzas resultaría en la creación de un momento inferior al que provoca F_d de manera independiente. Se considerará nula la fuerza N_1 aumentando más de manera indirecta el factor de seguridad y facilitando los cálculos. La fuerza aplicada en la simulación es de 3000 N.

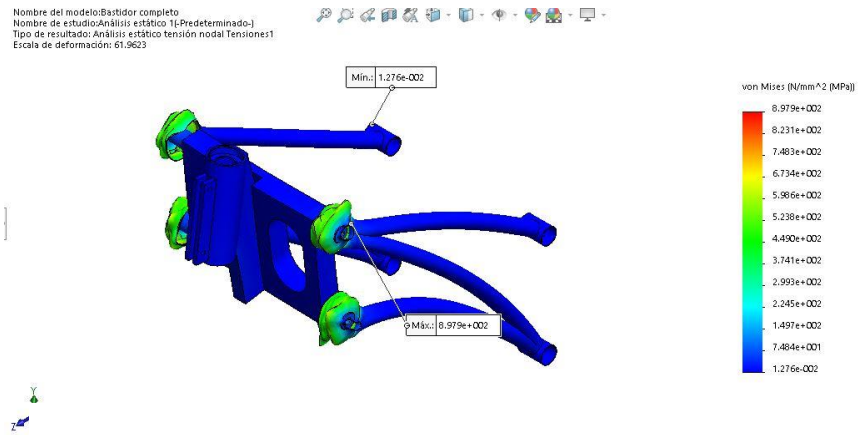
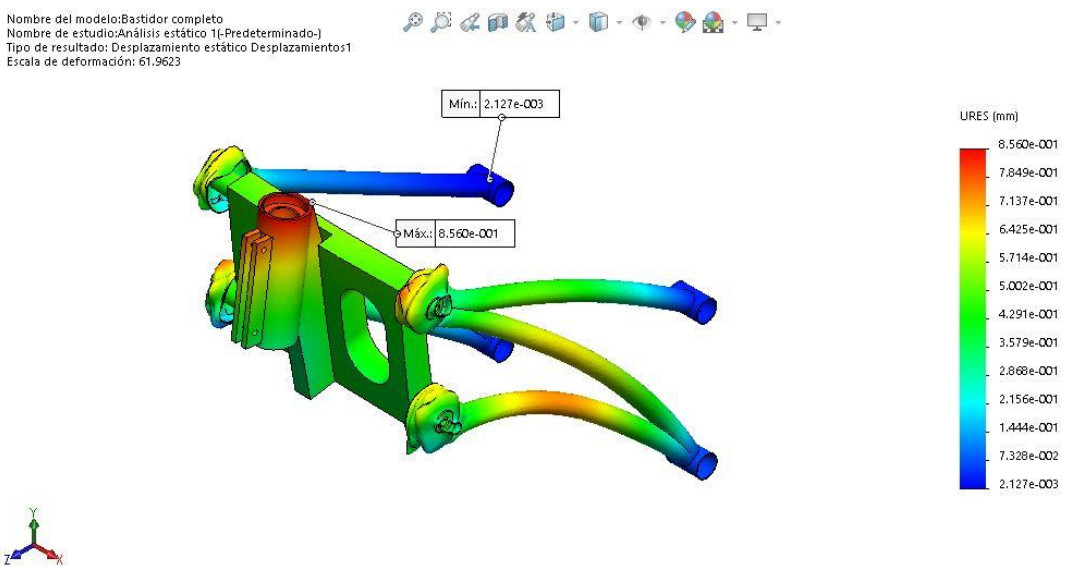


Ilustración 65: Distribución de tensiones en frenada máxima

Nuevamente podemos comprobar que la estructura tubular soporta de manera muy pareja las tensiones provocadas por la solicitación de frenada. Esta vez, se llegan a alcanzar los 130MPa de manera distribuida en las zonas azul de la estructura. Esta lectura es unas 100 veces mayor que la provocada por la situación de paso por culpa, podemos concluir entonces que esta es la circunstancia más desfavorable. De igual manera que en el paso por curva se produce una distorsión en la conexión entre pipa y bastidor que provoca un gran incremento de tensiones en este punto llegando a alcanzar los casi 900 MPa tensión más que suficiente para romper la unión. Este hecho nos conllevará a reforzar esta unión por tal de aumentar la seguridad en ese punto, de todas maneras, la simulación este realizada con 1 mm de espesor, en la realidad será difícil bajar de 3 mm en este punto. Aun así, el conjunto de aluminio colocado en el interior de esta unión ha de trasmitir las fuerzas en toda la superficie interior del tubo lo que imposibilita que puntos individuales se deformen como ocurre en la simulación donde el programa interpreta cada nodo por separado aplicando las respectivas solicitaciones transmitidas por la pipa hacia la estructura tubular.



*Isométrica

En este caso, los desplazamientos se comportan tal y como sería coherente. Puesto que en el sentido de la marcha el bastidor ha de ser todo lo rígido posible aun aplicando las fuerzas sin la horquilla como intermediario, la pipa que es el punto con más desplazamiento únicamente se desaloja 0,86 mm desde su posición inicial. Un resultado muy positivo para su función.

4.4-Evaluación de tensiones en la pipa de dirección:

Con el fin de poder más en detalle la distribución de fuerzas en las piezas con el material menos tenaz, se simula la pipa de dirección de aluminio 6063-t6 por separado. Esto nos clarificara los aspectos que hemos podido pasar por alto en la simulación general a falte de detalle. Esta vez se fijarán como estáticas las sujeciones de con las estructuras laterales y se aplicara la fuerza de la misma manera que en el caso anterior. El hecho de fijar los anclajes provocara que todas las tensiones las absorba esta pieza y por lo tanto estas deberían de ser más altas que en el caso anterior.

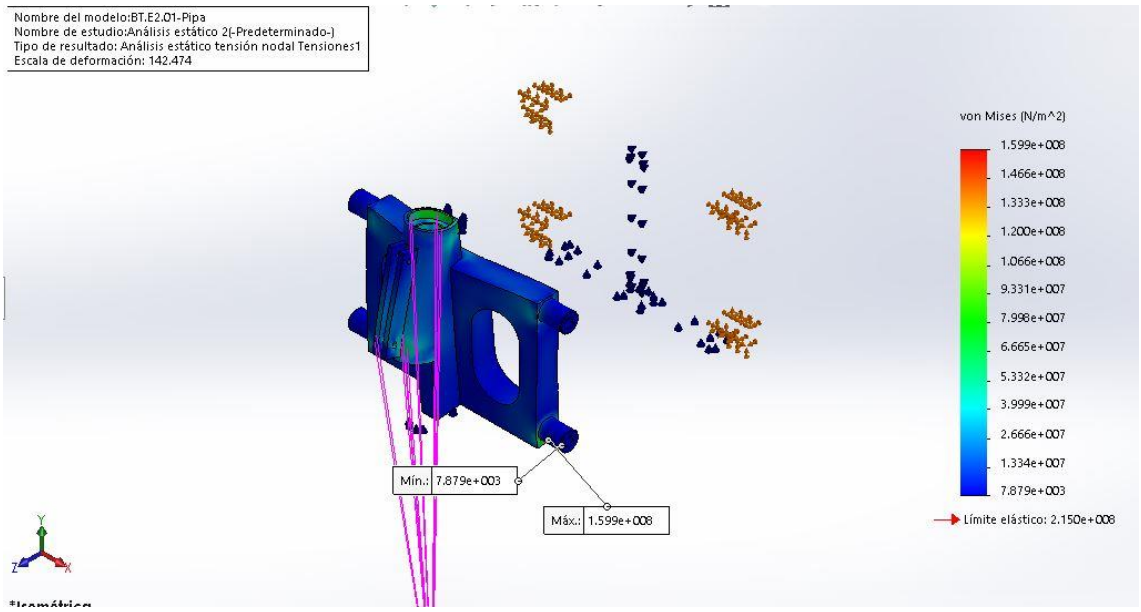


Ilustración 66:Simulación de tensiones pipa de dirección

Como era de esperar, las tensiones son mayores que antes pero aun así la pipa soporta todas cargas solicitadas con un factor de seguridad de 1,3 que, aunque es algo justo las cargas están muy mayoradas como para considerar peligroso este valor. Los puntos de aplicación de la fuerza y la raíz de los anclajes son los puntos más desfavorables. Una posible mejor podría ser un redondeo en las aristas de los anclajes de manera que las tensiones fluyan de manera más uniforme y se alivien así en gran parte.

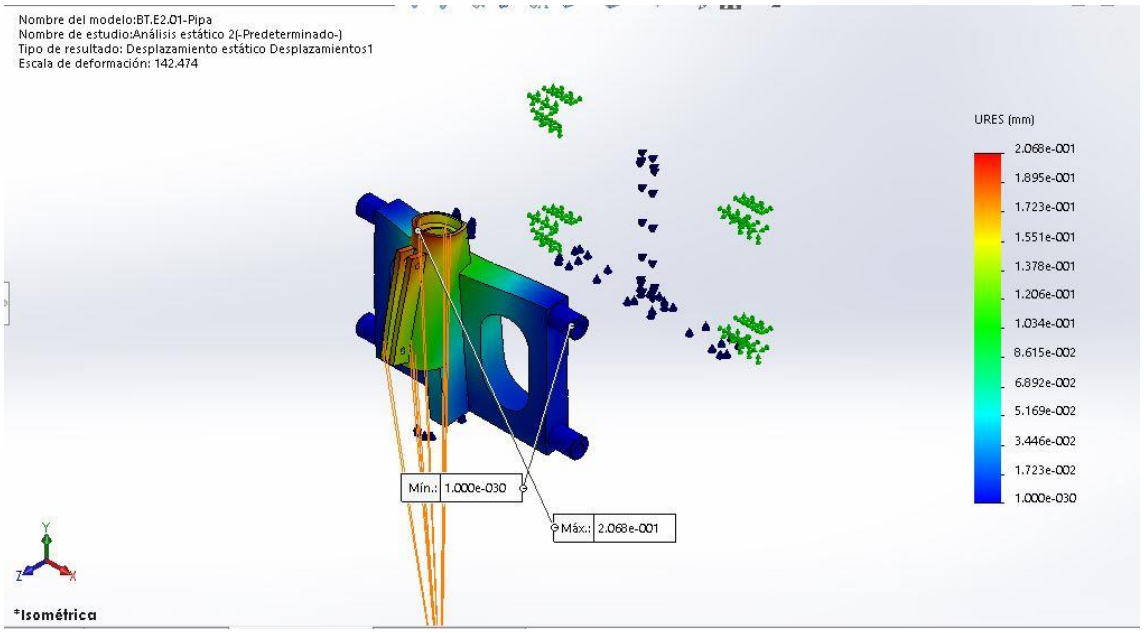


Ilustración 67:Simulación de desplazamiento pipa de dirección

Sin embargo, se puede comprobar que los desplazamientos totales han decrecido aun siendo mayor la tensión. Esto se debe en que ahora también es menor la distancia a un punto fijo lo que reduce la cantidad de material por deformar y como consecuencia directa el desplazamiento total del elemento.

5.0-Ensayos experimentales:

Una de las grandes dificultades durante el desarrollo de este proyecto es el diseño de las uniones de los tubos que conforman el bastidor del prototipo. Tras realizar todo tipo de diseños y valorar cada uno de ellos, se estimó por viabilidad constructiva, económica y por disposición de conocimientos heredados del anterior equipo, llegamos a la conclusión, que la mejor solución en este aspecto era utilizar uniones sobrelaminadas. Aun así, con tal de seguir con la metodología de ensayos del anterior equipo se fabricará una probeta laminada por un extremo y con el inserto de aluminio en el otro. Además de facilitar el ensayo de la probeta de esta manera también podremos concluir que unión soporta más carga.

5.1-Ensayo a tracción:

Para la unión del inserto de aluminio empezaremos por mecanizar unos casquillos que posteriormente irán introducidos dentro de las barras de fibra de carbono fijadas a estas mediante adhesivo estructural. La principal ventaja de este tipo de uniones es que el extremo de la barra es metálico lo que permite soldar elementos si fuera necesario. A su vez la necesidad de soldar los extremos, presentaba nuevos inconvenientes puesto que el adhesivo se veía sometido a un impacto térmico.

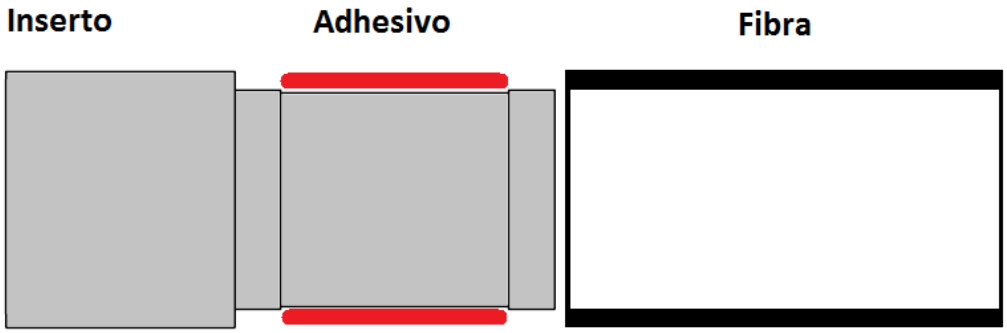


Ilustración 68: Esquema insertos

Estos insertos solo se podían fabricar mediante dos maneras: mecanizado o soldadura. La primera de ellas hubo que descartarla por el alto coste que suponía, la segunda, era una forma fácil y más económica, a pesar de la dificultad de soldar determinadas aleaciones de aluminio, fue la solución que se acabaría aplicando.

Con el fin de valorar y poder caracterizar este tipo de unión, se creyó conveniente realizar una serie de ensayos.

En base al proyecto de Formula Student "Design of a Carbon Fiber Suspension System fer FSAE Applications" realizado por Alban C.Cobi del Massachusetts Institute of Technology (MIT), se decidieron las medidas y acabados que se aplicarían en el inserto.

El ensayo se ideó para observar el comportamiento del adhesivo, desde el punto de vista de la solicitación, un esfuerzo a tracción era el más crítico y daría un orden de magnitud más aproximado sobre su comportamiento.

Para la fabricación de la probeta, se usó tubo de acero, tubo de fibra, adhesivo estructural Adekit 140 de la marca Axson y dos perfiles en T.

Se mecanizaron los casquillos según las medidas establecidas, realizando dos rebajes, el primero es donde apoyaría el tubo de fibra y el segundo sería el alojamiento del adhesivo. Las tolerancias son muy pequeñas para favorecer la retención del adhesivo. El tubo de fibra era de 28 milímetros de diámetro y uno de espesor con el 50% de las fibras a 0º y el otro 50% a 90º.

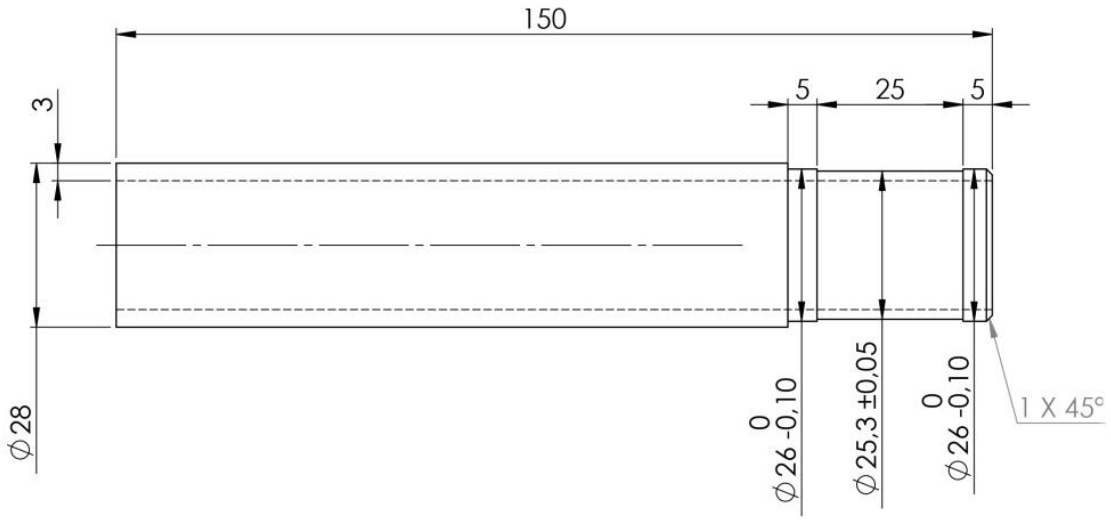


Ilustración 69:: Plano inserto

Montaje:

Ilustración 70:Proveta de ensayo sobre laminación

Primero se chorreó con arena la parte del casquillo donde iría el adhesivo, obteniendo así una zona más porosa favoreciendo el contacto. Posteriormente se le aplicó una fina capa de adhesivo fluido y se introdujo el casquillo dentro del tubo de fibra, al que previamente se le habían realizado dos orificios contrapuestos de 4mm de diámetro y se había lijado su interior. Una vez introducido el casquillo se inyectó a presión el Adekit 140 por uno de los orificios dejando que rebosara por el otro lado para asegurar que cubriría completamente toda la superficie chorreada.

Para la realización del tubo numero dos o parte laminada como su propio nombre indica, este tipo de unión se realiza sobrelaminando encima de los elementos que deseamos juntar y sobre el utillaje que le proporciona la forma deseada, teniendo en cuenta cual será la dirección de los esfuerzos poniendo de forma conveniente la dirección de la fibra.

Este método de fabricación presenta grandes ventajas. La primera de ellas es que se utiliza el mismo material, presentando así comportamientos parecidos, sin añadir peso extra y, aunque a priori no parezca importante, presenta un mejor aspecto estético. Por otro lado, no son necesarias máquinas de mecanizado ni soldadura, por lo tanto, requiere de menos etapas en su fabricación y menor maquinaria además de posibilitar que la fabricación la realicemos nosotros mismos. Por último, este sistema permite corregir pequeñas desviaciones durante la fabricación, aceptando así tolerancias mayores y disminuyendo el precio final. Se explicara la fabricación de esta parte de la probeta más detenidamente en el siguiente apartado:

6.2-Estructura tubular:

Posteriormente se dejó curar durante 48h a presión y temperatura ambiente. Para finalizar, y con el fin de poder realizar el ensayo, se soldó un perfil en T en el extremo de la probeta.

Ilustración 71: Probeta inserto con adhesivo

Como otro de los aspectos a valorar era como afectaría la temperatura de la soldadura al adhesivo, una de las probetas se realizó refrigerando el tubo (mediante un trozo de tela mojada) durante la soldadura y la otra, esta refrigeración solo se aplicó a uno de los extremos, el otro además se calentó para que la diferencia de temperatura fuese aún más acusada. El cordón de soldadura se sobredimensionó para garantizar que siempre rompería antes por la unión fibra-acero que por la soldadura.

Ensayo y conclusiones:

Ilustración 72: Pinza de ensayo

En el laboratorio del Departamento de Resistencia de Materiales de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y Aeronáutica de Terrassa, se realizó el ensayo a tracción.

Situando la probeta en posición vertical y sujetándola por los extremos con las pinzas, se configuró para que la máquina ofreciese un desplazamiento de mm/minuto, hasta que la probeta rompiese por uno de los extremos.

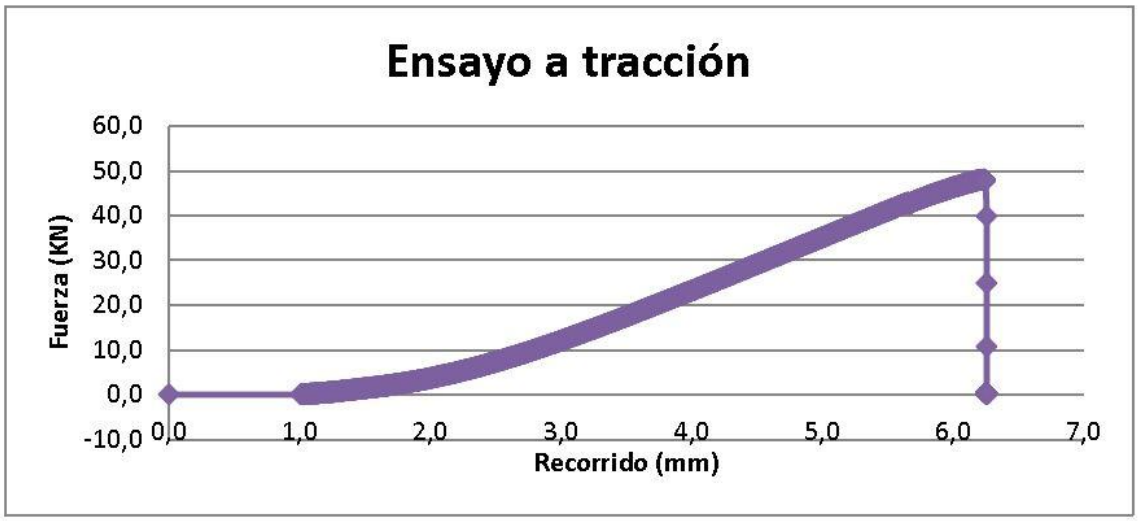


Ilustración 73: Gráfica primer ensayo

Observando las gráficas obtenidas los resultados fueron satisfactorios. En el primero de los casos, en el que ambas soldaduras fueron refrigeradas, se obtiene un valor máximo de 47KN muy superior a cualquiera de las solicitaciones que, en un uso normal, el prototipo debe soportar.

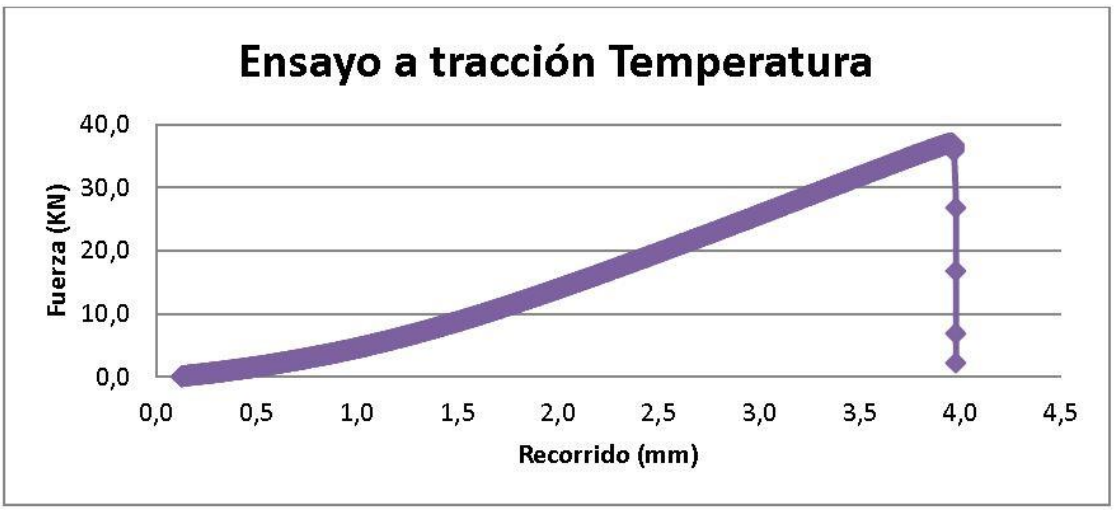


Ilustración 74:Ensayo a tracción y temperatura

Por otra parte, aunque en el prototipo se refrigerará durante la soldadura, observamos como el punto de rotura en el segundo caso es superior a 35KN, también por encima de lo esperado. Por último, destacar que la rotura se produjo por de laminación de los tubos no por el adhesivo, es decir, debido a que los tubos que se usarán en el prototipo definitivo son diferentes (más resistentes; 75% de las fibras a 0º y el 25% a ±45º) y que la laminación se controlará de manera más específica se puede asegurar que la unión resistirá más (incluso posiblemente más que el adhesivo).

Ilustración 75: Rotura ensayo

6.o-Fabricación:

El bastidor, a excepción de las piezas de mecanizado complejo, será fabricado y ensamblado por los miembros del equipo MotoSpirit, siendo siempre asesorados por los especialistas en el sector en que intervenga la fabricación de cada una de las partes a realizar.

A lo largo de este apartado se explicará de manera cronológica todo el proceso de fabricación. Se citarán brevemente algunas de las cotas de las piezas (con la finalidad de poder situarnos correctamente) pero no se especificarán todas y cada una de ellas; estas cotas quedan reflejadas en los planos añadidos en más adelante. Como nuestro bastidor consta de cuatro piezas, se empezará con la explicación del utillaje necesario para realizar las estructuras tubulares de fibra de carbono, siguiendo por la realización de dichas estructuras, el mecanizado de la pipa de dirección y acabando por el corte de los soportes de motor.

El proceso ha sido pensado para externalizar solo las piezas que sean necesarias, pudiendo así fabricar nosotros mismos (con el soporte de las infraestructuras y conocimientos de las empresas colaboradoras) el máximo de piezas posibles, ampliando de esta manera los conocimientos y experiencia de los integrantes del equipo. Además, será más fácil detectar y rectificar cualquier incidente en la fabricación de las piezas, si siempre está presente algún miembro del equipo con total conocimiento del conjunto del prototipo y sus cotas más relevantes.

6.1-Utillaje:

Este utillaje es la base sobre la que posteriormente se producirán las dos estructuras laterales que forman el bastidor. Es imprescindible la correcta fabricación de este conjunto, ya que comporta que la parte principal del bastidor se fabrique de manera correcta.

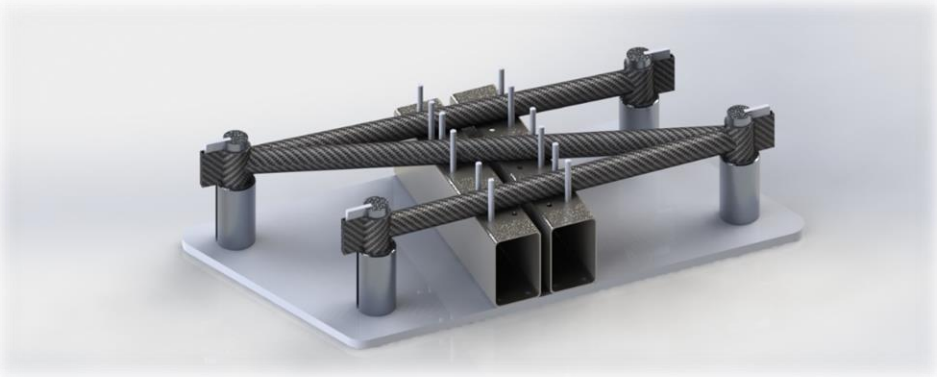


Ilustración 76:Utillaje de posicionamiento estructura tubular

El utillaje está constituido por:

Tabla 5:Elementos para fabricar utillaje

Elemento	*Cantidad*	*Dimensión/es relevante/es*
Placa de acero	1	Espesor de 10mm
Redondos calibrados	4	Ø 40
Pletinas de acero	4	5x4x40
Pasadores	12	Ø6x50
Pasamanos de acero	2	80x50

Su diseño nos permite posicionar en el espacio cada uno de los tubos y colocar correctamente los puntos de unión de la pipa de dirección y el soporte motor además de crear un "tubo" transversal con la forma adecuada para la que poder sujetar las estructuras de manera deslizante.

Como podemos observar en la siguiente figura el utillaje posiciona los siguientes puntos:

- Puntos A y B: puntos de unión con pipa de dirección
- Puntos C y D: puntos de unión con soporte motor.

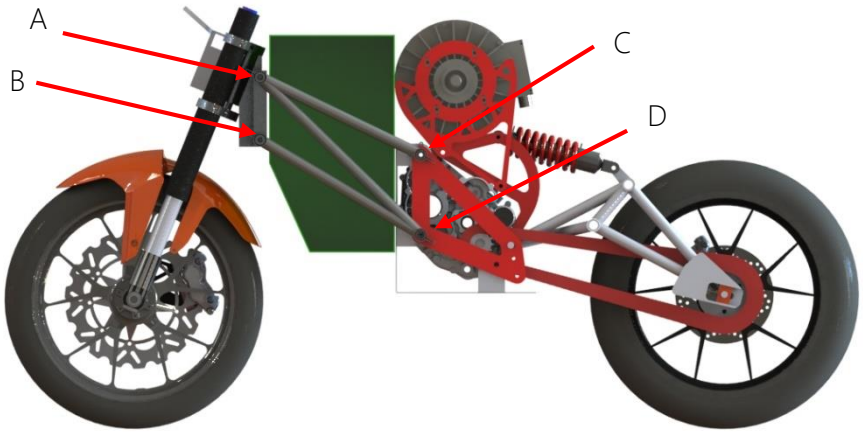


Ilustración 77: Puntos de unión estructura tubular

El utillaje ha de posicionar perfectamente los tubos transversales con los anclajes que forman parte del bastidor, así como el bloque de aluminio mecanizado que forma el interior de la pipa de dirección. El conjunto va completamente fijado con tornillos a excepción de los pasadores por tal de poder utilizar a las mismas piezas para realizar distintas configuraciones e bastidor solo modificando o mecanizando diferentes bases. De esta manera, si hubiese que modificar el bastidor por cualquier causa inesperada no sería necesario volver a asumir el coste de un utillaje completo.

6.1.1-Proceso de fabricación:

A pesar de ser una pieza sencilla, era de vital importancia realizar los pasos correctamente para que el ensamblado de la pieza final pudiera realizarse de forma sencilla. En los planos encontraremos las cotas y medidas de las diferentes piezas del conjunto del utillaje. El primer paso será la fabricación de la placa base en la que se monta todo el utillaje. Esta placa será mecanizada mediante herramientas básicas de taladros y fresa (aunque está prevista para su posible realización en corte laser). Primero se realizan los taladros pasantes que posicionaran los redondos calibras y posteriormente se rebajaran con un diámetro más grande esos mismos agujeros con la misión de esconder las cabezas de los tornillos. El correcto posicionamiento de los taladros es la operación más importante de toda la creación del utillaje, ya que como ya se ha comentado influye directamente en la fabricación correcta de la pieza.

Ilustración 78:Recorte de planchade acero

Una vez realizada la base, procederemos a mecanizar en un torno los redondos calibrados. Estos necesitan un diámetro más ancho en su raíz que servirá para dar apoyo a los tubos transversales fabricados en el utillaje. El diámetro menor es necesario para dar la forzar el tamaño adecuado a os tubos transversales. Después de crear dos diámetros diferentes, se procede a realizar una entalla de manera axial con el fin de acomodar las pletinas descritas a continuación e incluso posicionar los redondos gracias a un pequeño rebaje con la misma forma en la base del utillaje. Para facilitar la entrada y salida de piezas se le realizara tanto en la parte superior como en la inferior un pequeño chaflán. Una vez realizadas las piezas ya se podrían ir presentando en la base para confirmar que no ha habido ningún error durante el proceso de fabricación.

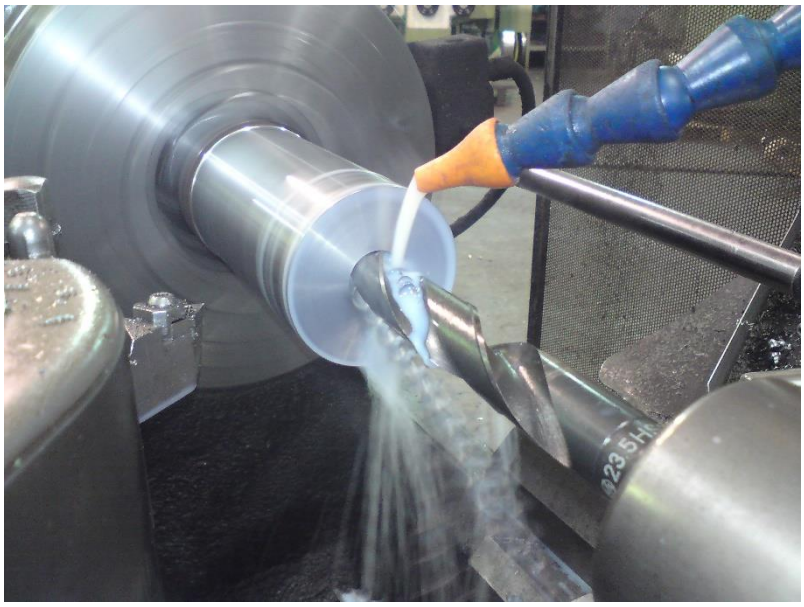


Ilustración 79: Mecanizado en torno

El tercer paso sería cortar las pletinas de 5x4x40 y realizarles dos chaflanes en las aristas que sufren contacto con otras piezas. Estas pletinas se presentarán ajustadas en la entalla de los redondos calibrados y tendrán la misión de dar forma al laminado que se realizara en las piezas del utillaje. Se podría decir que junto a los redondos calibrados forman un molde interior para la fabricación de nuestra estructura tubular.

Para poder operar con comodidad por debajo de la estructura mientras esta se esté fabricando y además añadir la bolsa de vació cuando sea necesario, se ha provisto al utillaje de dos tubos de acero standard de 50x80. Estos se posicionarán de forma correcta con 4 taladros realizados en la base. Además, para forzar una única posición en el momento de poner los tubos cortados consiguiendo de esta manera que no sea posible una incorrecta fabricación de la estructura por desplazamientos imprevistos se han realizado 4 taladros de Ø6 mm para añadir pasadores que cumplan con esta función.

Para finalizar presentaremos los pasadores en los tubos rectangulares a los que no será necesario realizar ninguna operación, simplemente colocarlos es sus correspondientes taladros para que estos limiten la posición de las barras a una única postura.

6.1.2-Medidas generales:

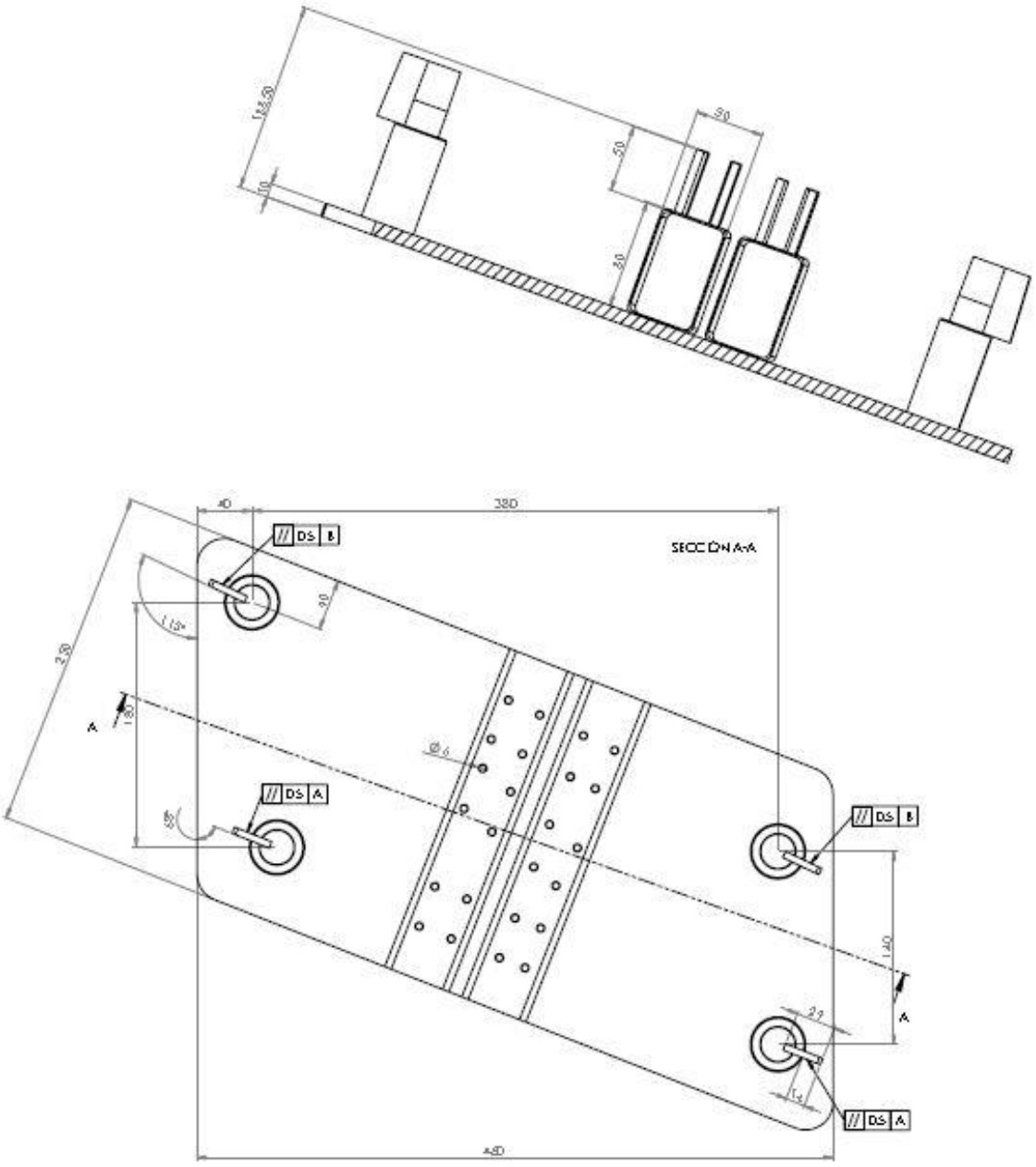


Ilustración 80:Plano general utillaje

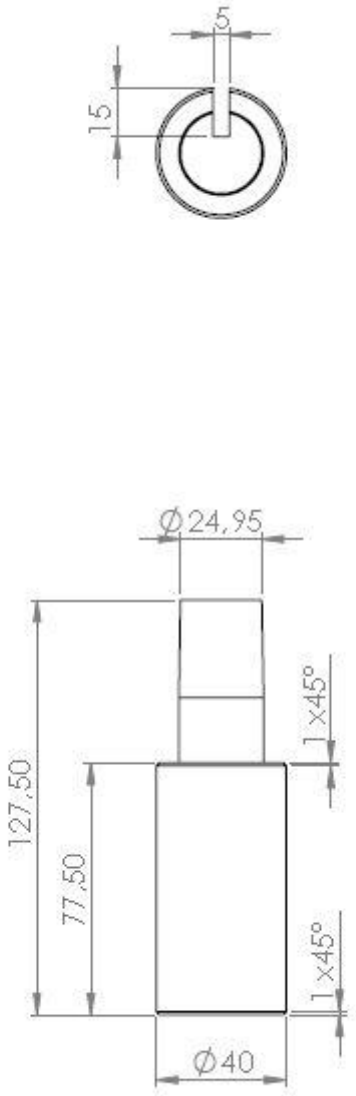


Ilustración 81:Detalle acople utillaje

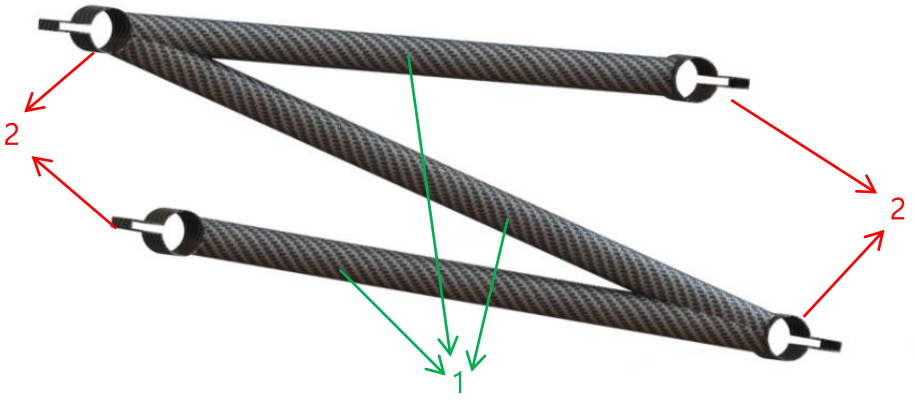
6.2-Estructura tubular:

Para la fabricación de las estructuras laterales del bastidor se utilizará el siguiente material:

Elemento	*Cantidad*
Tubos de fibra de carbono	1
Insertos de aluminio	4
Fibra prepreg para laminar	Indet.

Tabla 6:Material estructura lateral tubular

Durante el desarrollo de este apartado se utilizará la nomenclatura indicada en la siguiente figura:



1. Tubos axiales.
2. Tubos transversales.

6.2.1-Preparación previa

Por un lado, se mecanizarán los casquillos en aluminio 7075, partiendo de un tubo redondo de 1 mm y un diámetro de 28mm.Se encontrarán más detalles en los planos dispuestos en diseño final.

Por otro lado, se cortarán los tubos de fibra de carbono a la longitud establecida y con el desarrollo indicado para cada en barra.

6.2.2-Laminación:

Empezaremos colocando los casquillos de aluminio en su posición alrededor de los redondos calibrados del utillaje y se les aplicará una capa de fibra de carbono pre-preg con acabado de pil-play solamente en la superficie del casquillo, de manera que cubra por completo toda su superficie. La función de esta capa es aumentar la adherencia de las capas que se aplicarán posteriormente en los laminados. Debido a este hecho no se colocará esta lamina sobre el redondo de acero o esto impediría la extracción de la pieza del utillaje una vez curada.

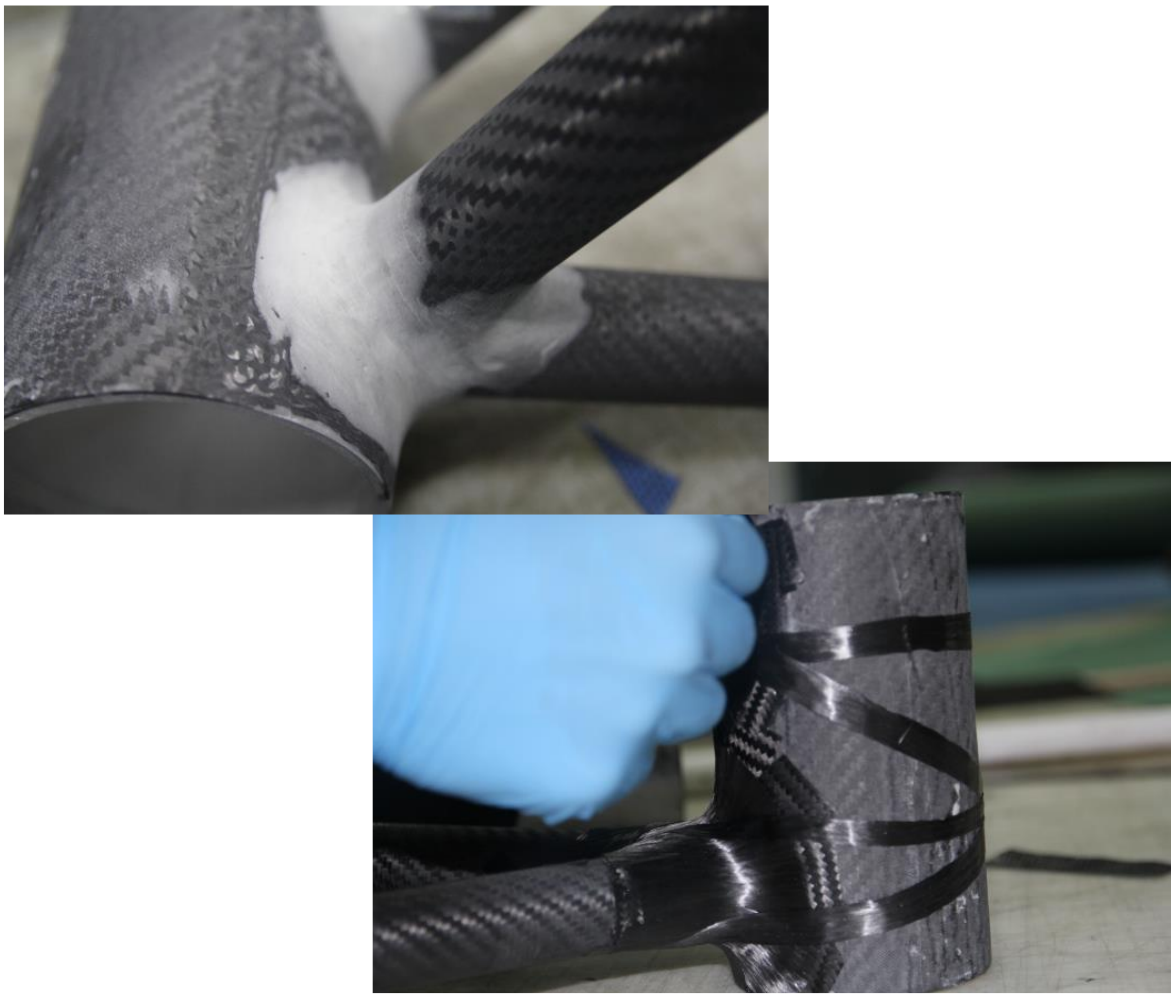


Ilustración 82:Proceso de laminación

Tras el paso anterior, posicionaremos en el utillaje los tubos cortados con anterioridad en su posición establecida gracias a la utilización de cola fijadora. A partir de este momento deberemos laminar tanto las uniones como los tubos transversales (ya que estos no existen físicamente si no que se forman tras envolver con láminas el utillaje) por tal de crear una pieza sólida.

A partir de las simulaciones se ha decidido una secuencia única de ensamblaje, empezando con las barras que más esfuerzo reciben y finalizando por las que menos cargas soportan. De este modo conseguimos que las uniones que más esfuerzos han de resistir, sean las que más capas de fibra tengan. En el caso de la fibra, siempre, al añadir más material conseguimos más resistencia en esa unión.

Siempre que se hable de laminación se utilizará el procedimiento siguiente:

Se recubre la pieza con una lámina de adhesivo y dos capas de fibra de carbono a ±45º. Una vez hecho esto se forrará la pieza con una capa de pil play, tela que permite el drenaje de la resina y deja un acabo poroso que mejora la superficie para utilizar adhesivos.

Para eliminar el aire de la fibra de carbono se somete a la pieza al vacío. Se recubre toda la pieza con una manta que se pone entre la fibra y la tela de sangrado para que la segunda no se agujeree. Por último, se monta la bolsa de vació donde se incorpora una toma para conectar la bomba de vacío. Se deja curar en el horno a 100grados durante 24h.

Ilustración 83: Proceso de vacío

Cada uno de los procesos se realizará en días separados. Una vez laminada cada fase, se deberá dejar curar durante 24h aplicando vacío y, un pasturado de 10h a 100º de temperatura.

Sí que se curará el bastidor como pieza única, pero en ningún caso se introducirá en autoclave. Se considera que no es necesario debido al buen comportamiento obtenido en los ensayos. Por otra parte, aplicar presiones tan altas con una temperatura elevada podría generar incongruencias entre la fibra y el aluminio, especialmente en lo que respecta a dilataciones.

6.3-Pipa de dirección:

Esta pieza se realizará a partir de diferentes piezas mecanizadas en aluminio 7075 las cuales se unirán mediante soldadura para crear una única pieza sólida y rígida.

Podemos diferenciar la pipa de dirección en tres partes:

1. Unión con tren delantero.
2. Placa rígida.
3. Uniones con bastidor.

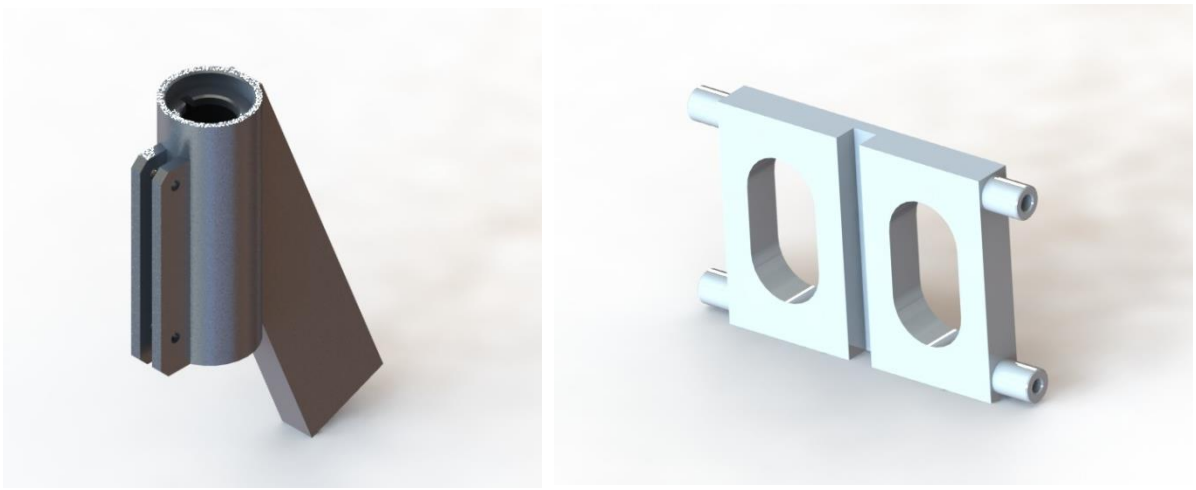


Ilustración 84:Partes pipa de dirección

Para la fabricación de la unión con el tren delantero, partiremos de un redondo de aluminio con gran diámetro el cual habrá de pasar por un proceso de torneado interior y otro de fresado exterior. De esta manera conseguimos crear un elemento cilíndrico interiormente con sus respectivos rebajes y una estructura exterior parcialmente cilíndrica, con unos salientes de forma rectangular para poder anclar esta parte con la siguiente además de añadirle la posibilidad de anclar algunos accesorios. Por ultimo realizaremos los taladros exteriores donde irán alojados los tornillos que sujetan los accesorios y un fresado interior con el fin de crear una entalla con la que poder extraer los rodamientos de dirección en caso que fuese necesario.

Para la fabricación de la placa rígida solamente se hará pasar al material por un proceso de corte por agua y posterior taladrado. De esta manera, con dos sencillos mecanizados se obtiene la parte lista para ensamblar con las siguientes.

Para la fabricación de las uniones con bastidor solamente será necesario pasar por el torno, pues estas son piezas totalmente cilíndricas.

Una vez realizadas las tres partes se deben ensamblar en conjunto, comprobar que todas las cotas importantes se cumplen correctamente (punto crítico porque una vez soldada la pieza no habrá posibilidad de retroceso si algo no ha salido según lo esperado) y finalmente se

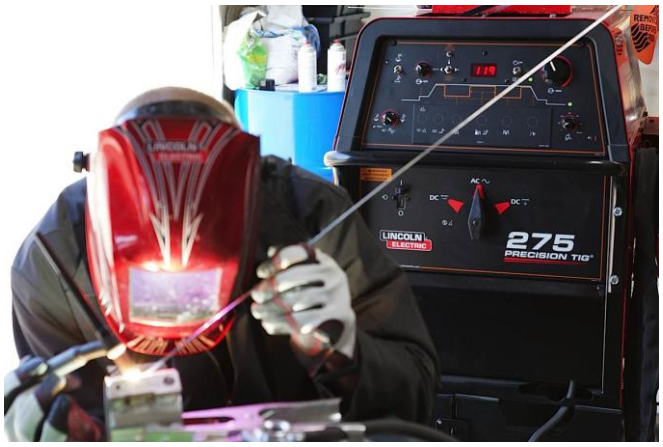


Ilustración 85: Soldadura de aluminio

procede a la unión por soldadura de manera que se cree una única pieza indivisible. Todas las soldaduras se realizarán en las caras en las que no intersecten las demás piezas a ensamblar con esta con el fin de no causar interferencias o dificultad de montaje por intersecciones indeseadas.

6.4-Conjunto soporte motor:

Podemos sub-dividir el conjunto de soporte de los motores por dos tipos de piezas:

1. Los casquillos mecanizados en aluminio.
2. Y las placas de unión de fibra de carbono.

Por un lado, se realizará mecanización por corte por agua en placas de 2,5 mm de fibra de carbono. Se eligió este método por que el acabado que deja para nuestro elemento ya es suficientemente bueno y es un proceso compatible con la fibra de carbono. La dirección de las fibras será la estándar (+-45º) debido a que no es necesario colocar las fibras en una dirección concreta puesto que las tensiones estarán provocadas por diversos factores y no se mejoraría prácticamente el comportamiento cambiado esta disposición.

Por otro lado, la realización de los diferentes casquillos de aluminio se necesitan redondos de aluminio de un grueso superior al necesario por tal de mecanizarlos correctamente por su parte exterior. Se realizarán diferentes diseños de casquillo dependiendo del punto de anclaje al que van destinados, pero todos reciben el mismo proceso de fabricación.

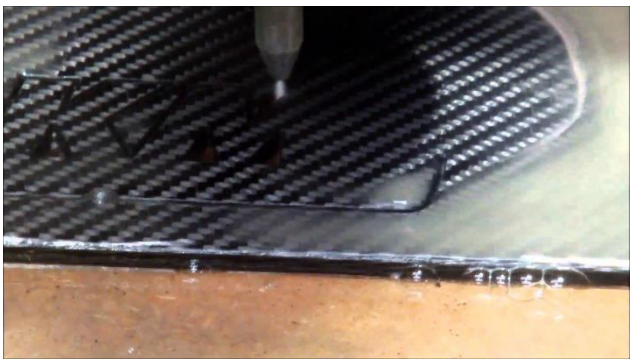


Ilustración 86:Corte por agua fibra de carbono

Al ser piezas cilíndricas y de material metálico la forma más extendida de fabricación es el mecanizado con torno.

El último paso a realizar a estos casquillos separadores será la realización de un taladro concéntrico y un roscado interior (dependiendo del casquillo) con el fin de poder anclar las diferentes piezas.

7.0-Presupuesto:

A continuación, se expondrán los costes derivados de la creación del bastidor. En el siguiente presupuesto solo se tienen en cuenta los costes derivados de la compra de materiales y su mecanizado o fabricación. Por lo consiguiente, quedan excluidos los costes de ingeniería y diseño y los gastos de montaje y ensamblaje general. El apartado descuento hace referencia al descuento obtenido como equipo de parte de las empresas colaboradoras con nuestra entidad.

Tabla 7:Presupuesto de bastidor

Departamento: Bastidor

Núm.	**Concepto**	**Coste**	**Descuento**	**Total**
1	2,600 mm de tubos fibra de carbono 25x2	155,74€	30%	109,18€
2	Plancha de fibra de carbono de 1000x400x5	208,58€	30%	146€
3	Casquillos de aluminio Ø28x1x40	23,42€	20%	18,74€
4	Material para laminar	63€	100%	0€
5	Epoxi Adekit 140	45,60€	100%	0€
6	Mecanizado estructura tubular	35€	60%	14€
7	Curado estructura tubular	130€	100%	0€
8	Mecanizado pipa tubular	80€	10%	72€
9	Corte y mecanizado plancha pipa	186€	10%	167,4€
10	Corte laminas motor	30€	20%	24€
11	Mecanizado casquillos motor	45€	10%	40,5€
12	Mecanizado utillaje	225€	75%	56,25€
	Total	**1227,34€**		**648,07€**

8.0-Pliego de condiciones:

8.1 Medidas Generales:

Las cotas generales del conjunto estándar son:

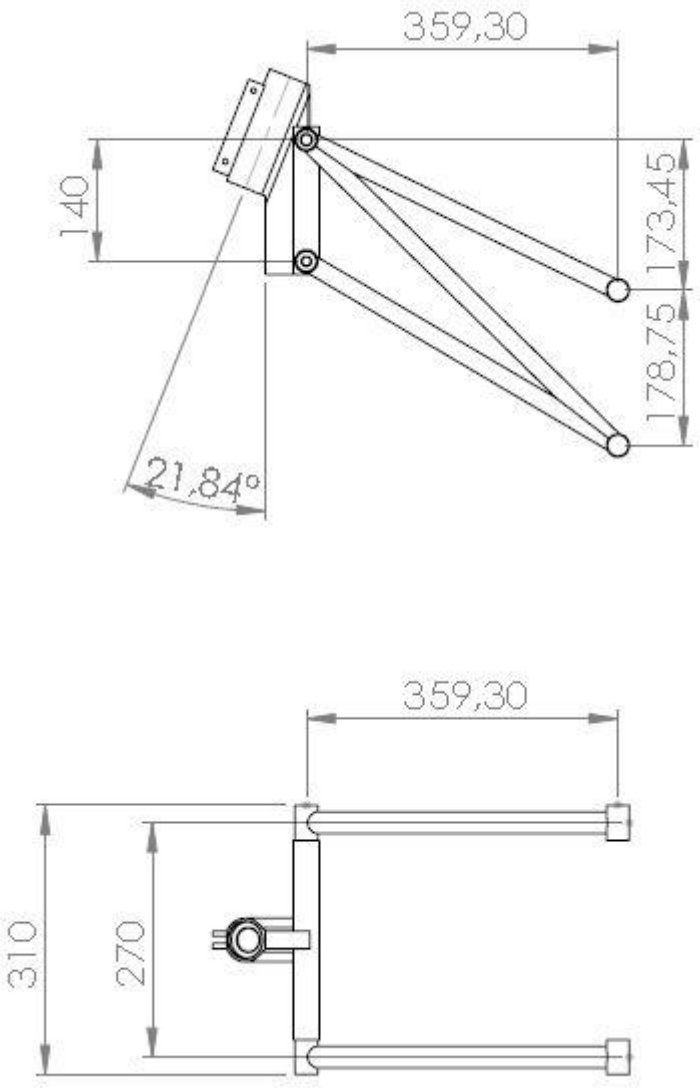


Ilustración 87:Cotas generales

Queda terminantemente prohibida la modificación de cualquiera de los elementos del bastidor sin una autorización explícita del equipo MotoSpirit y más específicamente del departamento de bastidor.

8.2 Vida útil

El prototipo está diseñado para su uso durante el desarrollo de la III Edición de MotoStudent.

Es decir, para las pruebas que se realizarán durante los meses de Julio, agosto y septiembre para la puesta a punto general del prototipo, así como la propia competición MotoStudent. Incluyendo las pruebas dinámicas de aceleración, frenada y Gymkhana junto a la carrera y sus entrenamientos.

Más de este evento, el equipo MotoSpirit y en de forma específica el departamento de bastidor no asegura o comprometa a funcionamiento en plenas condiciones y capacidades del prototipo.

8.3 Presupuesto

El presupuesto del presente proyecto tiene en cuenta todos los costes que se listan a continuación:

Costes de materiales, costes de procesos de fabricación, costes de mano de obra de montaje, costes de soldadura, costes de elementos comprados y costes de ensayos.

Quedan excluidos los costes de ingeniería.

El presupuesto puede variar ligeramente en función del proveedor y/o mercado.

Tiene validez hasta final del presente año, es decir 31-12-2016.

8.4 Especificación de elementos

8.4.1 Elementos fabricados

Todos los elementos fabricados por los diferentes contratistas deberán reunir todas aquellas propiedades indicadas en los anexos adjuntos al proyecto y en las especificaciones en los planos en cuanto a materiales, tolerancias, acabados superficiales…

8.4.2 Componentes comprados

Todos los elementos que se hayan adquirido mediante compra a distribuidor o donaciones de terceros deberán reunir las características de catálogo sin que se pueda reducir las propiedades de estos.

8.5 Transporte

Cualquier elemento que pueda trasportarse, ya sea el bastidor acabado o piezas en proceso de fabricación, deberá ser trasladado de forma individual y protegidos con los medios necesarios.

En caso de que durante el transporte algún elemento sufra algún daño, este deberá ser reemplazado de forma inmediata por uno de características idénticas.

8.6 Materiales

Para la fabricación del bastidor se utilizará como material principal la fibra de carbono.

- Tubos de 25mm de diámetro interior, 1,5mm de espesor y una disposición de las fibras de un 75% a 0º y el 25% restante a ±45º.
- El laminado se realizará con fibra de carbono pre-preg de 200gr.

Estos deberán cumplir como mínimo con las condiciones mecánicas de catálogo sin que estas se puedan ver afectadas durante la vida útil del prototipo.

La pipa de la dirección se empleará un aluminio de tipo 7075 T6 y en el caso de los casquillos e insertos un aluminio 6082.

En caso de que la empresa distribuidora o comercial del material no cumpla con las especificaciones de catálogo, deberá reemplazar el material por una partida que cumpla con los requisitos.

8.7 Condiciones de montaje

Se deberán cumplir las tolerancias especificadas en los planos de fabricación.

Es imprescindible que el operario que se encargue de fabricar el conjunto del bastidor sea conocedor de las necesidades que tiene la fibra de carbono como composite, respetando los tiempos de curado necesarios para garantizar el acabado estructural.

En caso de que algún elemento sufra daño alguno durante la etapa de montaje, éste deberá ser substituido por uno de idénticas características sin contemplar la reparación inmediata como una opción.

8.8 Advertencias de seguridad

El bastidor diseñado está pensado para su uso en competición, es decir en circuito cerrado de asfalto. El bastidor no está diseñado para otros, aunque estos sean del sector del motociclismo (motocross, enduro…). Tampoco está preparado para que se realicen modificaciones del resto de elementos del prototipo, como podría ser un motor de mayor potencia.

En ningún caso consta de homologación para poder circular de forma segura por la vía pública sin expreso permiso de la autoridad competente.

9.0-Impacto medioambiental:

9.1-Fase de diseño

En la fase de diseño, el impacto medioambiental no fue un aspecto limitante a tener en cuenta.

El objetivo de MotoStudent es que los participantes desarrollen y fabriquen un prototipo de competición. Es decir, por un lado, evalúan la evolución del diseño y el proyecto industrial y por el otro su comportamiento dinámico, disputando incluso una carrera, pero la organización no evalúa el impacto ecológico que éste pueda tener durante su desarrollo. Tampoco premia a los equipos por realizar dicho estudio.

Por otra parte, todo el proyecto está enfocado a la fabricación de un único prototipo. En el caso de que se tuviera que industrializar el proceso, habría que realizar un estudio previo de cada una de las piezas a fabricar para evaluar posibles cambios en el diseño para favorecer este aspecto; p.ej. consumos de energía o aprovechamiento del material. También habría que alargar su vida útil y estudiar las posibles alternativas para el reciclaje de cada material utilizado, especialmente la fibra de carbono. Aunque no es un factor condicionante a la hora de realizar nuestro prototipo el equipo MotoSpirit considera necesario e indispensable realizar una pequeña evaluación de riesgos medioambientales con el fin de minimizarlos al máximo .

9.2-Evaluación ambiental para piezas de fibra de carbono

El equipo MotoSpirit ha generado el presente estudio dirigido a los departamentos encargados del diseño y fabricación del chasis, los cuales tienen la fibra de carbono como material principal en sus diseños.

Debido a que la fibra de carbono es un material compuesto no metálico de tipo polímero, se proporciona la siguiente información para que se tenga presente durante la fase de fabricación, en la que los propios estudiantes son los que manipularán y estarán en contacto directo con el material.

La información recopilada en este documento debe servir para que los miembros del equipo conozcan la clasificación básica de los tipos de fibra de carbono existentes y conozcan los tratamientos disponibles para los residuos generados de este material.

Clasificación composites

Los composites tienen la particularidad de presentarse en una muy amplia y variada composición, fruto de su gran campo de aplicación: naval, aeronáutico, deportivo, químico, transporte, etc.

Una característica peculiar de la fabricación de los materiales compuestos de matriz termoestable (que las diferencias de los materiales obtenidos con matriz termoplástico) es la elevada cantidad de desechos desperdicios (recortes) que se generan. Esto se debe principalmente a los procesos de fabricación utilizados, manual en su mayoría.

Existe un gran número de problemas que dificultan el reciclado de los materiales compuestos de matriz termoestable, pudiendo establecerse, en primera aproximación que:

- Los materiales compuestos de matriz termoestable no pueden ser reprocesados mediante procesos de refundición.

- Los desechos suelen estar contaminados y a menudo contienen insertos metálicos o rigidizados.

- El alto contenido y tipos de refuerzos, minerales inorgánicos como, por ejemplo, la fibra de vidrio, con propiedades muy distintas a la matriz, dificultan en gran manera los procesos de reciclado.

Por su parte, los materiales a base de resinas epoxi, utilizadas en la industria aeroespacial se refuerzan con fibra de carbono, utilizando para su conformado pre impregnados de la fibra con resinas epoxi. Los pre impregnados, disponibles en láminas, se cortan de acuerdo con las dimensiones del diseño final. Este proceso genera una cantidad importante de desperdicio, el cual, normalmente, no es utilizado.

Composites de carbono

Los composites de carbono pueden tener orígenes muy diversos. Por lo que los desperdicios generados por el procesado de materiales compuestos con fibra de carbono consisten en:

- Fibras

- Tejidos

- Pre impregnados

- Laminados curados.

El porcentaje mayor lo constituyen los pre impregnados, que pueden ser reciclados mediante dos operaciones básicas: extracción de la resina y cortado de las fibras.

Como una clasificación inicial:

- Pre impregnado o prepreg en estado B perfectamente utilizable. Suelen ser restos de bobina.

- Prepreg en estado B pero fuera de fecha. También restos de bobina.

- Prepreg polimerizado, normalmente en forma de bobina.

- Composites de carbono en forma de piezas y moldes fuera de uso.

- Tejidos de carbono y bobinas de hilo sin mezclar con resina. Son restos de producción.

- Polvo de composite de carbono obtenido de recanteados de piezas y cortes con herramientas.

Esta clasificación básica da una idea de la amplitud del tema y por tanto, según sea la presentación de esta fibra de carbono, así habrá de ser el tratamiento a seguir para que obtengamos el máximo aprovechamiento y rentabilidad industrial. Hacemos la aclaración que en la gran mayoría de los casos, los composites y prepregs están impregnados en resina epoxy.

9.3-Fase de construcción

9.3.1-Minimizado de residuos

Son varios los motivos por los que, a pesar de no ser un requisito indispensable de la organización del evento, el equipo MotoSpirit pretende minimizar los residuos producidos durante la fabricación.

Por un lado, actualmente hay una creciente concienciación con la importancia del medioambiente ya desde las aulas, por este motivo creemos que minimizar los residuos le da valor añadido al proyecto. Por otro lado, el equipo ha de asumir todos los costes de fabricación, por lo que aumentar el aprovechamiento del material también nos resulta beneficioso.

9.3.2-Tratamiento de los residuos

Todo el proceso de fabricación se ha realizado en entidades y empresas especializadas en el uso de los materiales manipulados, por lo tanto, la gestión de los residuos ha sido la adecuada para cada tipo de material.

Principalmente se han utilizado tres tipos de material: aluminios en la pipa de la dirección y los casquillos, acero en el utillaje y fibra de carbono en el bastidor.

Metales

La totalidad de las piezas metálicas han sido realizadas y manipuladas dentro del recinto de la universidad (ESEIAAT), específicamente en el taller de INTEXTER. Como se comentaba en el punto anterior, se realizó un estudio previo a la compra de material para optimizar costes y aprovechamiento. Las piezas metálicas han sido trabajadas manualmente, generando un residuo mínimo. Por último, todos los retales y viruta generada sean gestionado junto al resto de residuos generados por el taller. En este caso se externaliza el servicio contratando una empresa especializada en el tratamiento de estos residuos.

Fibra de carbono

Las piezas de fibra de carbono de las que está compuesto el bastidor son tubos prefabricados y láminas prepreg.

Los tubos utilizados en el bastidor son productos estandarizados que comercializa la empresa ClipCarbono. A pesar de necesitar 3 metros de tubo de 25 mm de diámetro, considerando los residuos, no es un material que fabrique MotoSpirit por lo tanto no se analiza su impacto medioambiental.

Para la realización de las uniones realizadas mediante sobre-laminado, se estableció colaboración directa con Nexus Projectes, empresa con 14 años de experiencia en el sector que pone a disposición del equipo sus instalaciones y conocimiento.

Debido a que la fibra de carbono es un producto químico, anualmente Nexus Projectes subcontrata a una empresa para que evalúe los riesgos de cada puesto dentro del recinto. Como es obvio desde la empresa nos obligan a seguir unas pautas de acondicionamiento y seguridad en la manipulación de los materiales y/o herramientas.

Cabe destacar que parte de la colaboración establecida es la provisión de fibra de carbono prepeg. Debido a que los retales que MotoSpirit necesita son pequeños, se aprovechan parte de los desechos generados por la empresa en otros proyectos. El resto del reciclaje lo externaliza a empresas especializadas.

9.4 Fase de explotación

En el contexto que alcanza este proyecto, el bastidor no generará residuos durante su vida útil.

9.5 Fase de desmantelamiento

Si hubiere desmantelamiento, este sería bastante costoso debido a la dificultad de separar los materiales metálicos de los composites. Sí que sería relativamente de reciclar el acero utilizado en el utillaje.

A pesar de ello no se considera que haya desmantelamiento, debido a que el bastidor fabricado será propiedad de la asociación MotoSpirit con el objetivo de su uso en la docencia, ya sea para mejorarlo o estudiarlo.

10.0-Conclusiones:

Después de analizar los diseños actuales y definir unos criterios de elección se ha concluido que ninguno de estos cumplía los requerimientos de nuestro proyecto. Por ello, se ha optado por partir de cero y realizar un diseño innovador que resolviese de una manera más adecuada las particularidades de nuestro proyecto.

La obtención del diseño final se ha realizado a través de un proceso completo de análisis, partiendo de un primer diseño y realizando un estudio exhaustivo de sus ventajas e inconvenientes en relación al proyecto previsto.

A partir, de la determinación de los puntos fuertes y débiles se realizan las modificaciones pertinentes para la obtención de un segundo diseño mejorado. Este proceso se ha realizado reiterativamente hasta la obtención del diseño definitivo, el cual pienso que cumple adecuadamente los requerimientos establecidos.

El diseño definitivo consiste en la separación del conjunto bastidor en cuatro piezas diferentes:

- Pipa de dirección.
- Estructura tubular lateral.
- Control de flexión.
- Soportes de motor.

Con el fin de albergar un gran volumen de baterías, necesarias para realizar la competición a un gran nivel de exigencia, es necesario que el bastidor sea amplio de principio a fin. Para conseguir esta amplitud inicial se crea un pipa de dirección de aluminio maciza con uniones en sus extremos, de manera que las baterías se puedan respaldar en esta pieza.

Las uniones laterales de la pipa de dirección, dan paso a la estructura tubular lateral que será tanto la encargada de envolver las baterías como de soportar y transmitir los esfuerzos axiales al sentido de la marcha.

Para poder sujetar las baterías de manera no estructural (ya que por reglamento queda prohibido explícitamente) y además asistir a las estructuras laterales de capacidad de absorción de fuerzas de flexión en el sentido de la marcha se crean el control o controles de flexión. Esta última pieza une las dos estructuras tubulares laterales directamente y le confiere resistencia a la tracción gracias a este hecho. Con la posibilidad de modificar las dimensiones de esta pieza, modificamos la resistencia a flexión o flexibilidad lateral del conjunto bastidor y por lo tanto el comportamiento dinámico de la motocicleta.

Por último, y con motivo de cerrar el gran volumen del bastidor y unirlo al conjunto de tracción de la motocicleta se proyectan los soportes de motor. Estos soportes se separan en tres piezas las cuales estarán presentes en cada lado de la motocicleta. La primera parte se encarga de soportar la fuerza de flexión del motor eléctrico, mantenerlo en su sitio y permitir que la correa primaria pueda tensarse y destensarse. La segunda parte se encarga de unir el conjunto bastidor con el conjunto basculante y otorgar a este último un punto de pivotamiento y una

sujeción fija para la suspensión trasera. La tercera se encarga de unir una vez más el conjunto bastidor con el conjunto basculante pero esta vez lo hace de manera exterior, fijando así el punto de pivotamiento del basculante y evitando las deformaciones o desajustes que se pueden provocar en u punto con tantas solicitaciones y tan delicado como este. Además, crea un punto fijo, estático y rígido que sirve de base para anclar las estriberas.

Como conclusión final puedo decir que se ha creado un bastidor separado en cuatro piezas donde cada una de encarga de solventar una necesidad básica del proyecto y permiten una fácil modificación de los parámetros dinámicos del conjunto motocicleta.

11.0-Líneas futuras:

A corto plazo se materializaría la fabricación y el testeado de la maquina en sus condiciones de trabajo(competición).

A medio plazo y a partir de los resultados de la competición se detectarán los puntos fuertes y débiles del diseño, esto permitirá diseñar con más exactitud en qué dirección y sobre qué elementos deberá centrarse las líneas futuras de mejora del prototipo. Pero un ejemplo podría ser el análisis del comportamiento de cada una de las cuatro piezas del bastidor y la optimización de cada una de las diferentes partes con el fin de obtener parámetros de rigidez mejoradas en los diferentes ejes de la máquina.

A largo plazo sería posible realizar un estudio exhaustivo de las uniones de las diferentes piezas y cómo actúan estas primeras en las diferentes circunstancias de trabajo, pudiendo realizar así nuevas configuraciones de unión que proporcionen al conjunto mejoras tanto en la asistencia de soporte de tensiones como en la facilidad de montaje.

12.0-Bibliografía:

12.1-Webliografía:

Reglamento organización	http://www.motostudent.com/
Información equipo	https://motospirit.wordpress.com/
Webliografía de interés:	https://www.bolido.com/2011/07/tecnologia-la-fibra-de-carbono/
	https://albrodpulf1.wordpress.com/2014/10/24/analisis-tecnico-fibra-de-carbono/
	https://www.facebook.com/Mricci-202097626489074/
	http://demotosonline.com/historia-de-las-motocicletas-brammo/
	http://las250delos80.jimdo.com/fichas-de-las-motos/armstrong/
	https://books.google.es/books?id=ST5hfaUMx0YC&pg=SA10-PA24&lpg=SA10-PA24&dq=Suzuki+Heron+en+fibra&source=bl&ots=SCo-92AW6q&sig=36CQ93h62eFB6TGnljPVhIzDSu0&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiL9syhw9HLAhVHAxoKHTFVBNMQ6AEIHTAA#v=onepage&q&f=false
	https://www.google.es/search?q=Prototipo+MotoCzysz&spell=1&sa=X&ved=0ahUKEwjAzZDpyNHLAhVJ2xoKHYY-ACsQvwUIGigA&biw=1366&bih=643
	http://motoczysz.com/
	http://www.motorcycle-usa.com/2012/04/article/brammo-releases-empulse-r-specs/
	upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.../PFC_MEMORIA_Gemma%20Solé.pdf
	http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24330/Memoria.pdf
	http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25740/MEMORIA.pdf
	http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6159/20Jhsr20de21.pdf?sequence=20
	http://www.eis.uva.es/reic/jc/IQweb/Docs_varios/apuntes_RMgrado.pdf
	http://documents.tips/documents/manual-de-motos-el-efecto-giroscopio.html
	http://www.moto1pro.com/reportajes-motos/zona-tecnica-cardan-cadena-o-correa-que-es-mejor
	http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3895/fichero/4.pdf

12.2-Libros:

- Motocicletas. Comportamiento dinámico y diseño de chasís Tony foale, 2006. ISBN - 84-933286-3-4
- Motocicletas (33ª ed.), Manuel arias-paz guitian, 2010. ISBN 9788496437265
- Motorcycle Dynamics, de Vittore Cossalter, ISBN-13: 978-1430308614
- FEODOSIEV, V.I.; "Resistencia de Materiales"; MIR
- ORTIZ BERROCAL, LUIS; "Resistencia de materiales"; Ed. Mc GRAW HILL.

13.0-Anexos:

13.1-Información motor Heinzmann:

13.2-Información neumáticos Dunlop:

13.3-Información frenos J. JUAN:

13.5-Información llantas Marchesini: