



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica
Ingeniería Técnica Industrial Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

PRE-DISEÑO, CÁLCULO Y EVOLUCIÓN DEL CHASIS DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

AUTOR: RAÚL DORADO GARCÍA

TUTOR: HIGINIO RUBIO ALONSO

CO-TUTOR: ENRIQUE SORIANO HERAS

LEGANÉS

MARZO 2013





Título: Pre-diseño, cálculo y evolución del chasis de una motocicleta de competición

Autor: Raúl Dorado García

Director: Higinio Rubio Alonso

Co-tutor: Enrique Soriano Heras

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

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

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE





Quería agradecer el esfuerzo a todas aquellas personas que me han ayudado en la realización de este proyecto.

A mi familia, Irene, Isa y José colocados por orden alfabético pues para mí, sois igual de importantes.

A mis amigos de Santa María de la Alameda, los cuales son los culpables de esta pasión por las motos en particular y el motor en general, sin ellos nunca hubiera descubierto este mundo que me apasiona y que se ha convertido en mi vida. Sinceramente muchas gracias.

Al barrio, los cuales cada día me demuestran su amistad y fidelidad, sois mi segunda familia, gracias por estar siempre ahí.

A Bergo, pilar de mi vida y persona con la que más tiempo he compartido y disfrutado durante este trabajo. Gracias por apoyarme y compartir tu vida todos estos meses a mi lado.



Resumen

Este proyecto engloba una propuesta de diseño de chasis, sub-chasis y su integración con el motor mediante una placa de sujeción para una motocicleta de competición de la categoría Moto3 del mundial de motociclismo.

Se comienza viendo la evolución y tipos de bastidores que ha habido a lo largo de la historia de las motocicletas, seguido de su funcionamiento y comportamiento ante diferentes solicitaciones. Con esta introducción se presentan varias propuestas de diseño de chasis, y se muestra su evolución hasta llegar a un chasis definitivo que se desarrolla y se mejora para que cumpla los requisitos de una motocicleta apta para la competición.

Después se hace un proceso similar para el sub-chasis y para la placa que une el chasis al motor.

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

Palabras clave: Chasis, bastidor motocicleta, MotoStudent, sub-chasis, diseño, cálculo, Método Elementos Finitos (MEF)



Abstract

A design of chassis, subchassis and its integration with the engine through a holding plate is proposed in this project. The project is focused on a competition motorbike suitable for the Moto3 World Championship.

At the beginning we start knowing the types and development of chassis which throughout the history of motorcycles, followed by their operation and behavior under different stresses. This introduction presents several chassis design proposals, and shows its evolution until a final chassis which is developed and improved to fulfill the requirements of our particular motorcycle.

Then a similar process is done for the subchassis and the connecting plate between chassis and engine until it fulfills the requirements of the motorcycle.

Finally, the needed auxiliary elements are calculated and chosen to fit the final design.

Keywords: chassis, motorcycle, MotoStudent, subchassis, design, calculations, Finite Element Analysis (FEA).



INDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCION 18

1.1 ÁMBITO Y JUSTIFICACIÓN _____	18
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO _____	19
1.3 FASES DEL PROYECTO _____	20
1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO _____	21

2. ANTECEDENTES _____ 24

2.1 MOTOSTUDENT _____	24
2.1.1 Aspectos generales _____	24
2.1.2 La competición _____	24
2.2. MOTOSTUDENT 2010 _____	25
2.3 FASES DE LA COMPETICIÓN MOTOSTUDENT 2012 _____	28

3. DATOS DE PARTIDA _____ 30

3.1 REGLAMENTO TÉCNICO _____	30
3.1.1 La motocicleta _____	30
3.1.2 Requerimientos generales del diseño _____	31
3.1.2.1 Dimensiones _____	31
3.1.2.2 Pesos _____	33
3.1.3 Ciclística _____	33
3.1.3.1 Bastidor _____	33
3.1.3.2 Dirección _____	33
3.1.3.3 Freno delantero _____	34
3.1.4 Manillar _____	34
3.1.5 Llantas y neumáticos _____	35
3.1.6 Carenado _____	35
3.1.6.1 Restricciones dimensionales _____	35
3.1.7 Motor _____	36
3.1.8 sistema de refrigeración _____	36
3.1.8.1 Radiador _____	36
3.1.9 Sistema de admisión de aire _____	36
3.1.9.1 Conductos de admisión _____	36
3.2 PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIONES TÉCNICAS _____	37
3.2.1 Homologación del chasis _____	37
3.2.2 Verificación de cotas generales _____	37
3.2.3 Verificación de pesos _____	37
3.2.4 Verificación del cumplimiento de la normativa de seguridad _____	38
3.3 COMPETICIÓN: PRUEBAS Y CARRERA _____	38



4. CHASIS DE MOTOCICLETA	40
4.1 HISTORIA DE LA MOTOCICLETA	40
4.2 TIPOS DE BASTIDORES DE MOTOCICLETAS	44
4.2.1 Chasis tubulares	44
4.2.2 El motor como elemento estructural (Auto-portante)	51
4.2.3 Chasis doble viga	53
5. METODOLOGIA	55
5.1 DATOS DE PARTIDA Y MATERIAL ESTÁNDAR UTILIZADO	55
5.2 HERRAMIENTAS DE CÁLCULO Y DISEÑO	56
5.3 CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA CREACIÓN DEL CHASIS	57
5.3.1 Influencia del chasis en curva	58
5.3.1.1 Flexión lateral	58
5.3.1.2 Rigidez torsional	61
5.3.2 Influencia del chasis a la entrada de la curva (Frenada)	64
5.3.2.1 flexión longitudinal	64
5.4 CRITERIOS CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR	67
5.4.1 Parámetros relacionados con las prestaciones en circuito	67
5.4.2 Parámetros relacionados con el diseño, fabricación, otros	69
5.5 TABLAS RESUMEN DE LOS PARÁMETROS REQUERIDOS	71
5.6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	72
5.7 SOLUCIÓN PROPUESTA A LOS RESULTADOS	75
5.8 ANÁLISIS PARA EL ESTUDIO DEL BASTIDOR CON MEF	78
5.8.1 Definición	78
5.8.2 Justificación de las condiciones de contorno estudio MEF	80
5.8.3 Condiciones de contorno	81
5.8.3.1 Las cargas	81
5.8.3.2 Restricciones de movimiento	84
5.8.3.3 Material	85
5.8.3.4 Mallado	87
6. DISEÑO DEL BASTIDOR	90
6.1 FASES DEL DISEÑO	90
6.1.1 Introducción	90
6.2 DISEÑO 2D	90
6.2.1 Dimensiones 2D Honda Moto3	91
6.2.1.1 Parámetros geométricos	92
6.2.2 Dimensiones 2D Moto Uc3m	94
6.2.2.1 Parámetros geométricos	97
6.3 PUNTOS DE INTERFACE CON EL MOTOR	98
6.4 DISEÑOS PRELIMINARES	99



6.4.1 Diseños auto-portante _____	99
6.4.1.1 Diseño M.A_TOP_1.0 _____	100
6.4.1.2 Diseño M.A_TOP_2.0 _____	101
6.4.1.3 Diseño M.A_TOP_3.0 _____	104
6.4.1.4 Diseño M.A_TOP_4.0 _____	108
6.4.1.5 Diseño M.A_TOP_5.0 _____	110
6.4.1.6 Diseño M.A_TOP_6.0 _____	112
6.4.1.7 Diseño M.A_TOP_7.0 _____	113
6.4.1.8 Diseño M.A_TOP_8.0 _____	115
6.4.1.9 Conclusión sobre chasis auto-portante _____	116
6.4.2 Transformación del chasis auto-portante al doble cuna _____	121
6.4.3 Diseños doble cuna abierto _____	126
6.4.3.1 Diseño M_DC_10.0 _____	126
6.4.3.2 Diseño M_DC_10.1 _____	134
6.4.3.3 Conclusión chasis doble cuna abierta _____	136
6.4.4 Tabla resumen chasis _____	137
6.5 CÁLCULO FEM ESPECÍFICO CON EL CHASIS DEFINITIVO _____	138
6.5.1 Frenada _____	138
6.5.2 Paso por curva _____	140
7. CÁLCULO DE ELEMENTOS AUXILIARES _____	142
7.1 SUB-CHASIS _____	142
7.1.1 Justificación de las condiciones de contorno estudio MEF _____	142
7.1.2 Las cargas _____	142
7.1.3 Restricciones de movimiento _____	143
7.1.4 Material _____	144
7.1.5 Mallado _____	144
7.1.6 Diseño del sub-chasis y Cálculo MEF _____	144
7.2 PLACA MOTOR _____	148
7.2.1 Justificación de las condiciones de contorno estudio MEF _____	148
7.2.2 Las cargas _____	148
7.2.3 Restricciones de movimiento _____	150
7.2.4 Material _____	151
7.2.5 Mallado _____	152
7.2.6 Diseño de la placa y Cálculo MEF _____	152
7.3 RODAMIENTOS _____	155



8. ANALISIS DEL CONJUNTO	157
8.1 ANÁLISIS MIXTO	157
8.2 ANÁLISIS FRENADA	160
8.3 ANÁLISIS PASO POR CURVA	163
9. CONCLUSIONES	165
10. TRABAJOS FUTUROS	167
11. PRESUPUESTO	168
12. BIBLOGRAFÍA	171



INDICE DE IMÁGENES

Ilustración 1: Suzuki 500cc pilotada por Kevin Schwantz (1989)	18
Ilustración 2: Puntuación de la competición (www.motostudent.com [8])	25
Ilustración 3: Suspensión alternativa. (Proyecto Fin de Carrera: “Prototipo de chasis para MotoStudent. Diseño y estudio”. [6])	26
Ilustración 4: Chasis MS1 (Proyecto Fin de Carrera: “Prototipo de chasis para MotoStudent. Diseño y estudio”. [6])	26
Ilustración 5: MS1 (Proyecto Fin de Carrera: “Prototipo de chasis para MotoStudent. Diseño y estudio”. [6])	27
Ilustración 6: Premio a la mejor innovación tecnológica	27
Ilustración 7: Periodos de competición (www.motostudent.com/ [8])	28
Ilustración 8: Croquis normativa de medidas (www.motostudent.com/ [8])	31
Ilustración 9: Croquis normativa de medidas (www.motostudent.com/ [8])	32
Ilustración 10: Croquis normativa de medidas (www.motostudent.com/ [8])	32
Ilustración 11: Primera motocicleta de la Historia, ingeniero Gottlieb Daimler (1885)	40
Ilustración 12: PitBike	45
Ilustración 13: Chasis Derbi Triangulado de competición	45
Ilustración 14: Cuna mixta desdoblada	46
Ilustración 15: Honda Zanella Pocket 50 cc	47
Ilustración 16: Chasis monotubo Bimota	47
Ilustración 17: Moto2 RZ-Honda Mundial del motociclismo.	48
Ilustración 18: Moto 3 Sherco. Mundial de motociclismo.	49
Ilustración 19: Yamaha Yzf 250 Ilustración 20: Husqvarna 250cc	49
Ilustración 21: Bultaco	50
Ilustración 22: Vespa 150cc. Modulo 1960	50
Ilustración 23: Chasis Kawasaki ZZR 1400	51
Ilustración 24: Ducati Gp10. Mundial de motociclismo 2008	51
Ilustración 25: Ducati Gp9. Mundial de motociclismo 2007. (Moto campeona del mundo)	52
Ilustración 26: Primer Deltabox, diseñado por Antonio Cobas.	53
Ilustración 27: Yamaha M1 2013. Mundial de motociclismo. (www.gpone.com [15])	54
Ilustración 28: Chasis Yamaha (aluminio) y Aprilia (fibra de carbono) diseñados para la categoría de Moto3	54
Ilustración 29: Plano llanta trasera	55
Ilustración 30: Plano amortiguador trasero	55
Ilustración 31: Plano motor Yamaha YZ 250 (cotas realizadas por equipo MS2) (www.motostudent.com/ [8])	56
Ilustración 32: Ejes de rotación motocicleta. (Tony Foale: “Motorcycle handling and chassis design: the art and science”. [1])	57
Ilustración 33: Max Biaggi Yamaha 500cc 2001	58
Ilustración 34: variabilidad del CDG en función de la inclinación (www.motogp.com/es [11])	59
Ilustración 35: Desplazamiento chasis en flexión lateral (www.bottpower.com [14])	60
Ilustración 36: Mick Doohan (www.motorcyclistonline.com/ [12])	61
Ilustración 37: Torsion trasera. (Tony Foale: “Motorcycle handling and chassis design: the art and science”. [1])	61
Ilustración 38: Casey Stoner (www.motogp.com/es [11])	62
Ilustración 39: Vista Frontal Honda RCV 2013 (www.motogp.com/es [11])	62



Ilustración 40: Torsion Delantera (Tony Foale: “Motorcycle handling and chassis design: the art and science”. [1])	63
Ilustración 41: simulación de torsión en la pipa "cabeceo" (www.bottpower.com [14])	63
Ilustración 42: Kevin Schwantz (izq) y Wayne Gardner (derch) en la frenada con más historia del mundial de Motociclismo (Hockenheim 1991)	64
Ilustración 43: Revestimiento de fibra de carbono en el chasis Kalex del Equipo Dynavolt Intact GP Moto2. (www.motogp.com/es [11])	65
Ilustración 44: Vista lateral Honda Hrc 2011. (www.motogp.com/es [11])	66
Ilustración 45: Rigidez Longitudinal (Tony Foale: “Motorcycle handling and chassis design: the art and science”. [1])	66
Ilustración 46: Baremo de puntuación	71
Ilustración 47: Tabla prestaciones en circuito	71
Ilustración 48: Tabla medios, fabricación, otros	72
Ilustración 49: KTM Moto3 2012 (www.blog.derestricted.com [17])	73
Ilustración 50: Ducati GP9 2007	73
Ilustración 51: Motocicleta fabricada por John Britten1995 (http://www.britten.co.nz/ [19])	76
Ilustración 52: Chasis BMW R1200GS	76
Ilustración 53: KTM Fabrica Moto 3 2013 (www.blog.derestricted.com [16])	77
Ilustración 54: Aleix Espargaro. Sepang 2013. (www.motogp.com/es [11])	80
Ilustración 55: Álvaro Bautista frenada límite. Sepang 2013. (www.motogp.com/es [11])	81
Ilustración 56: Marc Márquez en el vértice de la curva. Sepang 2013. (www.motogp.com/es [11])	83
Ilustración 57: Solicitación de cargas aplicadas en el chasis.	84
Ilustración 58: Restricciones transnacional (Eje X y Eje Z) aplicadas en el chasis	85
Ilustración 59: Restricciones laterales (Eje Y) aplicadas en el chasis	85
Ilustración 60: Tabla de propiedades mecánicas AL-7075 (www.sanmetal.es [25])	86
Ilustración 61: Tabla de alargamiento aleaciones aluminio (www.lumetalplastic.com [22])	87
Ilustración 62: Mayado automático.	88
Ilustración 63: Vista en detalle del mayado en zona sensible.	88
Ilustración 64: HRC NSF 250R Moto3 2012	91
Ilustración 65: Medidas características que definen el comportamiento de una moto. (Tony Foale: “Motorcycle handling and chassis design: the art and science”. [1])	92
Ilustración 66: 2D Honda HRC NSF 250 R	93
Ilustración 67: Tabla de parámetros geométricos 1	93
Ilustración 68: Tabla de parámetros geométricos 2	93
Ilustración 69: Primer 2D Moto UC3M	94
Ilustración 70: Relación entre la posición de la pipa y longitud entre ejes	95
Ilustración 71: 2D definitivo MS2	96
Ilustración 72: Tabla de parámetros geométricos 1	97
Ilustración 73: Tabla de parámetros geométricos 2	97
Ilustración 74: Perfil del motor Yamaha Yz 4T	98
Ilustración 75: Planta del motor Yamaha Yz 4T	98
Ilustración 76: Perfil Ducati GP9	99
Ilustración 77: Chasis M.A_TOP_1.0	100
Ilustración 78: Chasis M.A_TOP_2.0	101
Ilustración 79: Posición correcta de unir los tubos, sin crear flectores adicionales	102
Ilustración 80: Vista en detalle análisis Von-Misses chasis M.A_TOP_2.0	102
Ilustración 81: Placa unión chasis-motor	103
Ilustración 82: Chasis M.A_TOP_3.0	104



<i>Ilustración 83: Parte superior del origen del chasis auto-portante</i>	105
<i>Ilustración 84: Parte superior del origen del chasis, remarcando barras de refuerzo.</i>	105
<i>Ilustración 85: Movimiento lateral de la tija o “cabeceo” (www.bottpower.com [12])</i>	106
<i>Ilustración 86: Parte inferior del origen del chasis (en color rojo)</i>	107
<i>Ilustración 87: Chasis M.A_TOP_4.0 vista frontal</i>	108
<i>Ilustración 88: Chasis M.A_TOP_4.0 vista lateral</i>	108
<i>Ilustración 89: Chasis M.A_TOP_4.0</i>	108
<i>Ilustración 90: Chasis M.A_TOP_4.0 vista en planta</i>	108
<i>Ilustración 91: Von Misses Chasis M.A_TOP_4.0</i>	109
<i>Ilustración 92: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_4.0</i>	109
<i>Ilustración 93: Chasis M.A_TOP_5.0</i>	110
<i>Ilustración 94: Von Misses Chasis M.A_TOP_5.0</i>	110
<i>Ilustración 95: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_5.0</i>	111
<i>Ilustración 96: Chasis M.A_TOP_6.0</i>	112
<i>Ilustración 97: Von Misses Chasis M.A_TOP_6.0</i>	112
<i>Ilustración 98: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_6.0</i>	112
<i>Ilustración 99: Chasis M.A_TOP_7.0</i>	113
<i>Ilustración 100: Von Misses Chasis M.A_TOP_7.0</i>	114
<i>Ilustración 101: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_7.0</i>	114
<i>Ilustración 102: Chasis M.A_TOP_8.0</i>	115
<i>Ilustración 103: Von Misses Chasis M.A_TOP_8.0</i>	115
<i>Ilustración 104: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_8.0</i>	115
<i>Ilustración 105: Catálogo de Reynolds en función de la calidad del acero</i>	116
<i>Ilustración 106: Catalogo de Reynolds en función del diámetro y espesor del tubo</i>	117
<i>Ilustración 107: Chasis M.A_TOP_8.1</i>	117
<i>Ilustración 108: Von Misses Chasis M.A_TOP_8.1</i>	118
<i>Ilustración 109: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_8.1</i>	119
<i>Ilustración 110: Tabla de deformaciones chasis M.A_TOP_8.1</i>	119
<i>Ilustración 111: Vista en planta de los chasis M.A_TOP</i>	121
<i>Ilustración 112: Viga sometida a un momento torsor</i>	122
<i>Ilustración 113: Chasis M.A_TOP_9.0</i>	123
<i>Ilustración 114: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_9.0</i>	124
<i>Ilustración 115: Vista en detalle sujeción posterior M.A_TOP_9.0</i>	124
<i>Ilustración 116: Von Misses Chasis M.A_TOP_9.0</i>	125
<i>Ilustración 117: KTM Fabrica Moto 3 2013 (www.blog.derestricted.com [16])</i>	126
<i>Ilustración 118: Ram-air con toma de aire por debajo de la pipa de dirección</i>	127
<i>Ilustración 120: Ram-air con toma de aire central</i>	127
<i>Ilustración 121: Placa 1</i>	128
<i>Ilustración 122: Placa 2</i>	128
<i>Ilustración 123: Placa 3</i>	129
<i>Ilustración 124: Placa 4</i>	129
<i>Ilustración 125: Chasis M_DC_10.0 (con la placa 5)</i>	130
<i>Ilustración 126: Von Misses Chasis M_DC_10.0</i>	131
<i>Ilustración 127: Deformación eje Y Z X Chasis M_DC_10.0</i>	131
<i>Ilustración 128: Soldaduras</i>	132
<i>Ilustración 129: Von Misses Chasis M_DC_10.0</i>	132
<i>Ilustración 130: Detalle del punto de concentración máximo 1 en chasis M_DC_10.0</i>	133
<i>Ilustración 131: Detalle del punto de concentración máximo 2 en chasis M_DC_10.0</i>	133



<i>Ilustración 132: Detalle del punto de concentración en chasis M_DC_10.1</i>	134
<i>Ilustración 133: Von Misses Chasis M_DC_10.1</i>	135
<i>Ilustración 134: Detalle del punto de concentración en chasis M_DC_10.1</i>	135
<i>Ilustración 135: Deformación eje Y Z X Chasis M_DC_10.1</i>	136
<i>Ilustración 136: Tabla de deformaciones</i>	136
<i>Ilustración 137: Von Misses. Frenada Chasis M_DC_10.1 (simetría)</i>	138
<i>Ilustración 138: Deformación eje Y Z X. Frenada Chasis M_DC_10.1</i>	139
<i>Ilustración 139: Von Misses. Paso por curva Chasis M_DC_10.1</i>	140
<i>Ilustración 140: Deformación eje Y Z X. Paso por curva Chasis M_DC_10.1</i>	141
<i>Ilustración 141: Tabla resumen de resultados</i>	141
<i>Ilustración 142: Solicitación de cargas aplicadas en el sub-chasis</i>	143
<i>Ilustración 143: Restricciones transnacional (Eje X y Eje Z) aplicadas en el sub-chasis</i>	143
<i>Ilustración 144: Restricciones laterales (Eje Y) aplicadas en el sub-chasis</i>	144
<i>Ilustración 145: Von Misses sub-chasis</i>	145
<i>Ilustración 146: Deformaciones Y Z X sub-chasis</i>	146
<i>Ilustración 147: Solicitación de cargas aplicadas en la placa</i>	149
<i>Ilustración 148: Conjunto de la motocicleta</i>	149
<i>Ilustración 149: Restricciones transnacional (Eje X y Eje Z) aplicadas en el placa</i>	150
<i>Ilustración 150: Restricciones laterales (Eje Y) aplicadas en la placa</i>	151
<i>Ilustración 151: Tabla de propiedades mecánicas AL-1050 (www.sanmetal.es [26])</i>	152
<i>Ilustración 152: Von Misses placa</i>	153
<i>Ilustración 153: Deformaciones Y Z X placa</i>	153
<i>Ilustración 154: Catálogo SFK</i>	156
<i>Ilustración 155: Características de corona de agujas HK2520-2RS</i>	156
<i>Ilustración 156: Simulación en Pro Engineer de la corona de agujas integrada en el chasis</i>	156
<i>Ilustración 157: Solicitación Mixta en el conjunto</i>	157
<i>Ilustración 158: Von Misses en solicitud Mixta del conjunto</i>	158
<i>Ilustración 159: Deformaciones Y Z X en solicitud Mixta del conjunto</i>	158
<i>Ilustración 160: Tabla de deformaciones</i>	159
<i>Ilustración 161: Solicitación Frenada en el conjunto</i>	160
<i>Ilustración 162: Von Misses en solicitud en Frenada del conjunto</i>	161
<i>Ilustración 163: Deformaciones Y Z X en solicitud en Frenada del conjunto</i>	162
<i>Ilustración 164: Tabla de deformaciones</i>	162
<i>Ilustración 165: Solicitación en Curva en el conjunto</i>	163
<i>Ilustración 166: Von Misses en solicitud en Curva del conjunto</i>	164
<i>Ilustración 167: Deformaciones Y Z X en solicitud en Curva del conjunto</i>	164
<i>Ilustración 168: Tabla de deformaciones</i>	164



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Prestaciones en circuito</i>	71
<i>Tabla 2: Medios, fabricación, otros</i>	72
<i>Tabla 3: Propiedades mecánicas AL-7075</i>	86
<i>Tabla 4: Alargamiento aleaciones aluminio</i>	87
<i>Tabla 5: Parámetros geométricos 1 Honda</i>	93
<i>Tabla 6: Parámetros geométricos 2 Honda</i>	93
<i>Tabla 7: Parámetros geométricos 1 MS2</i>	97
<i>Tabla 8: Parámetros geométricos 2 MS2</i>	97
<i>Tabla 9: Deformaciones chasis M.A_TOP_8.1</i>	119
<i>Tabla 10: Deformaciones, sollicitación mixta Chasis M_DC_10.1</i>	136
<i>Tabla 11: Deformaciones Chasis M_DC_10.1</i>	141
<i>Tabla 12: Propiedades mecánicas AL-1050</i>	152
<i>Tabla 13: Deformaciones, sollicitación mixta conjunto</i>	159
<i>Tabla 14: Deformaciones, sollicitación frenada conjunto</i>	162
<i>Tabla 15: Deformaciones, sollicitación curva conjunto</i>	164
<i>Tabla 16: Presupuesto del proyecto</i>	169



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Ámbito y justificación

La idea de este proyecto es plasmar el amor de un estudiante de Ingeniería Mecánica por el mundo de las dos ruedas en un proyecto de ingeniería.

Gracias a la Universidad Carlos III y a la competición MotoStudent he podido desarrollar el sueño de diseñar una motocicleta y que ese diseño se convierta en realidad.

MotoStudent es una competición entre universidades cuyo objetivo es la aplicación de los conocimientos que los participantes han adquiriendo en las diferentes escuelas de ingeniería, diseñando y fabricando una moto que, dentro de un reglamento y unas reglas, competirá con el resto de motos fabricadas por el resto de universidades.



Ilustración 1: Suzuki 500cc pilotada por Kevin Schwantz (1989)



Los conocimientos necesarios para esta competición abarcan todos los aspectos requeridos para realizar una moto de competición como son los mecánicos, de electricidad, electrónica, materiales, organización industrial, mecánica de fluidos, publicidad, etc.

Dentro de este marco se asumió las siguientes responsabilidades:

- Desarrollo del chasis o bastidor de la moto, teniendo en mente que el primero objetivo era hacer una moto dinámicamente perfecta para que fuese la ganadora en la carrera y además tratar de obtener de nuevo el premio a la innovación tecnológica con un chasis alternativo que se alejara de la norma habitual que se emplea en los circuitos de velocidad.

Dado que era un proyecto en equipo, estaba condicionado por la coordinación de las interfaces con las otras partes de la motocicleta, ya que el chasis es la parte central de la moto y donde quedan anclados el resto de elementos que la componen, véase: basculante, dirección, suspensiones...

- También se centró parte de mi trabajo en la comprensión y análisis de la normativa de la competición con la finalidad de encontrar lagunas en el reglamento, para poder obtener alguna ventaja respecto al resto de equipos.
- Otro de los roles que se tuvo que asumir, como el resto del equipo MotoUc3m era buscar diferentes patrocinadores antes de comenzar la parte técnica del proyecto ya que se necesita de una gran esponsorización para poder hacer una motocicleta de competición .

Este proyecto requiere de una gran dedicación y constancia de los participantes. La pasión por el mundo de las dos ruedas es básica y necesaria, ya que la cantidad de horas que se le dedican es altísima en comparación con otros proyectos y la gratificación por el trabajo tienes que encontrarla de una manera personal.

1.2. Objetivos del proyecto

El objetivo general que se pretende alcanzar con la realización de este proyecto consistirá en el diseño y cálculo estructural de un bastidor para una motocicleta de competición de Moto3 para su posterior fabricación y participación en la competición MotoStudent 2012.



Todo ello se realizará en los plazos establecidos y dentro un presupuesto estipulado por la organización MotoStudent.

Para la consecución de este objetivo principal se desarrollarán previamente las siguientes tareas:

1. Realizar un estudio y analizar los diferentes chasis que existen actualmente en el mercado y que han existido a lo largo de la historia tanto a nivel comercial como en competición, con el fin de valorar sus diferentes funcionalidades, adaptándolo o sirviendo de inspiración para nuestro modelo en base a nuestras necesidades.
2. Buscar los medios suficientes para su futura fabricación.
3. Obtener con los medios que se dispongan el mejor conjunto posible.
4. Optimizar el diseño.

Concretamente, en este proyecto se reflejará el trabajo necesario para diseñar un chasis con la mejor relación rigidez/peso, pudiendo jugar con materiales y diferentes formas estructurales, ayudándose con el programa CAD, Pro Engineer.

1.3 Fases del proyecto

Para alcanzar los objetivos principales anteriormente mencionados, se plantea el siguiente cronograma:

1. Recopilación de datos técnicos sobre motocicletas e información específica
2. Establecer los criterios de selección para la elección del chasis entre las diferentes alternativas.
3. Generación de las tablas según criterios establecidos para la creación de los diseños.
4. Modelado de los diferentes bastidores propuestos en Pro Engineer.

5. Simulación por el método de los elementos finitos (con el módulo “Mechanica” de Pro Engineer) de los modelos de bastidor propuestos, con el fin de tener una idea concreta de evolución.
6. Análisis de los resultados obtenidos y elección del diseño final.

1.4. Estructura del documento

Este documento se divide en 12 capítulos:

1- Introducción: En este primer capítulo se introducirá el documento describiendo el marco en el que se sitúa y el por qué me decanté por este proyecto.

2- Antecedentes: Explica los resultados obtenidos el año pasado y el punto de partida de este año.

3- Datos de partida: Se expone el reglamento técnico de la competición, así como las verificaciones técnicas a las que se verá sometido el diseño. Además se hace un resumen de las pruebas que alberga la competición MotoStudent.

4- Chasis de motocicleta: Recorre la historia de la motocicleta para conocer la evolución que han sufrido los bastidores hasta nuestros días, también se explican los tipos de chasis que existen.

5- Metodología: Explica la planificación seguida en este proyecto y los procedimientos que se van a usar en el proyecto para llegar al conjunto final definitivo y se optimiza para que cumpla con los requisitos requeridos.

6- Diseño del bastidor: Se realiza el diseño y cálculo de varios sistemas de chasis entre los que se escogerá uno como diseño final, posteriormente se optimiza para que se ajuste a los requisitos propuestos.

7- Cálculo de elementos auxiliares: Se realiza el diseño y cálculo de los elementos complementarios del chasis como el sub-chasis y la placa de sujeción que unirá el motor con el chasis. También se determinará los rodamientos que se incluirán en el conjunto.



8- Análisis del conjunto: Se realiza el cálculo del chasis con los elementos auxiliares para analizar cómo trabajan unidos.

9- Conclusión: Se hace un resumen de los datos obtenidos y se plantea la solución propuesta.

10- Trabajos futuros: Se proponen aspectos que no se han estudiado en este proyecto y que serían interesantes de abordar en el futuro. También se expone los proyectos que se realizarán gracias a la experiencia obtenida a través de este trabajo.

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

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



2. ANTECEDENTES

2.1 MotoStudent

2.1.1 Aspectos generales

Este trabajo de investigación surge de la participación de la Universidad Carlos III de Madrid en la competición MotoStudent promovida por la fundación Moto Engineering Foundation (MEF). Esta competición propone un desafío entre equipos universitarios de distintas universidades Españolas y europeas. Para ello, el equipo universitario debe establecer el rol entre los miembros del equipo para forjar una empresa destinada a la fabricación de motos de competición.

El objetivo principal de MotoStudent consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición, que pueda participar en la nueva categoría Moto3, que consiste en motos de 250cc de 4 tiempos, que competirán en las diferentes pruebas que promueve la organización, que se definen en el punto “3.3 Competición y pruebas y carrera”, en unas jornadas que se llevan a cabo en el circuito MotorLand Aragón.

2.1.2 La competición

La competición de MotoStudent es una competición ingenieril, no se puede resumir sólo en una carrera de velocidad. El ganador será el equipo que consiga la mayor cantidad de puntos en las distintas fases. La evaluación corresponderá en cada caso a un jurado designado por la organización, que repartirá los puntos en juego en cada fase del modo que muestra la *ilustración 2*:

- Proyecto Industrial 600
- Prestaciones 400
- Carrera100

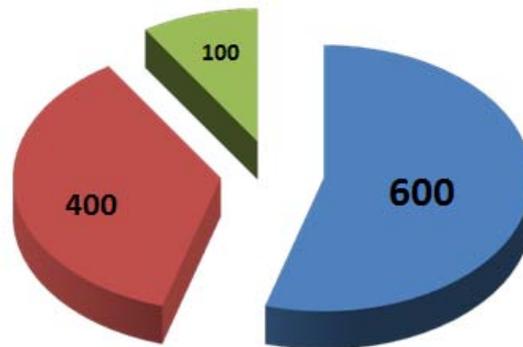


Ilustración 2: Puntuación de la competición
(www.motostudent.com [8])

Este sistema garantiza un mayor bagaje de puntuación en el que los equipos puedan evaluar sus proyectos en diferentes aspectos, y poder comprobar en qué áreas se pueden seguir mejorando para años futuros, o en que aspectos se debió prestar más atención respecto al resto de equipos.

Con esta estrategia la organización trata de minimizar los posibles factores ajenos al equipo que puedan lastrar sus posibilidades de éxito como la elección del piloto, posibles caídas en carrera o entrenamientos.

2.2. MotoStudent 2010

MotoStudent 2010 consistió en diseñar y fabricar un prototipo de motocicleta de competición de pequeña cilindrada 125 cc 2 tiempos. Después de un estudio de los modelos actuales de motocicleta y de acuerdo con la normativa de la competición, el equipo comenzó a diseñar la motocicleta.

La Universidad Carlos III de Madrid se presentó a la primera edición de MotoStudent, diseñando una moto que fue premiada como mejor “innovación tecnológica”.

Ganó este premio gracias al uso de un sistema de suspensión delantero no convencional, empleando un cuadrilátero articulado en lugar de una horquilla telescópica convencional que se puede ver en la *ilustración 3*.

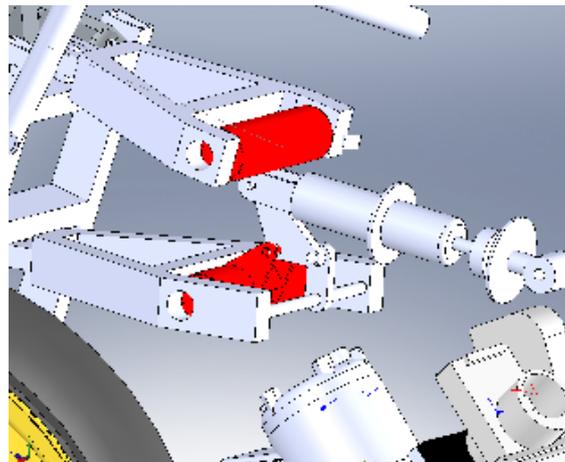


Ilustración 3: Suspensión alternativa. (Proyecto Fin de Carrera: “Prototipo de chasis para MotoStudent. Diseño y estudio”. [6])

Para este tipo de suspensión tuvieron que crear un chasis triangulado específico que arropa el motor para no someterle a esfuerzo significativos y que agarra la suspensión delantera en 2 puntos diferentes como se observa en la ilustración 4.

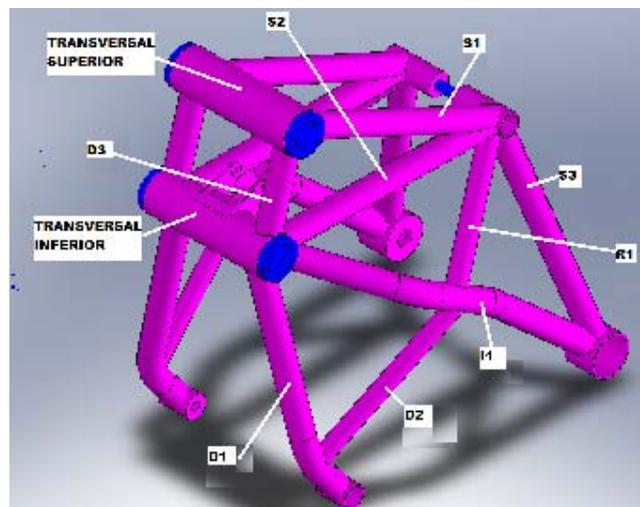


Ilustración 4: Chasis MS1 (Proyecto Fin de Carrera: “Prototipo de chasis para MotoStudent. Diseño y estudio”. [6])

Una vez determinadas y consensuadas las mejores ideas, se creó un modelo virtual diseñando y ensamblando todos los componentes y realizando simulaciones dinámicas con las que el equipo pudo solventar errores de diseño. Cuando el modelo virtual se completó, todos los componentes se fabricaron y montaron.



Ilustración 5: MS1 (Proyecto Fin de Carrera: "Prototipo de chasis para MotoStudent. Diseño y estudio". [6])

Como se observa en la *ilustración 5*, el diseño se hizo realidad y resulto un éxito entre el jurado.

Lamentablemente la moto no pudo correr debido a que se rompió antes de la prueba final. Sin embargo, con la valoración de las prestaciones de la moto se obtuvo una décimo octava posición.

A continuación en la *ilustración 6*, se muestra el premio obtenido por el equipo del año pasado y todos los participantes de la universidad Carlos III, tanto los alumnos como los profesores implicados en el proyecto:



Ilustración 6: Premio a la mejor innovación tecnológica



Con estos antecedentes, y con la presión del buen papel desempeñado por los compañeros de la pasada edición, la Universidad Carlos III se volvió a presentar en la competición, bajo el nombre UC3MOTO.

2.3. Fases de la competición MotoStudent 2012

La competición se divide en 4 fases, en la que debes ir presentando diferentes documentos que te permiten pasar a la siguiente fase, cada una de ellas tiene una fecha para demostrar los objetivos marcados por la organización.

A continuación se muestra en la *ilustración 7* las fechas de la competición y una breve descripción de cada una de ellas.

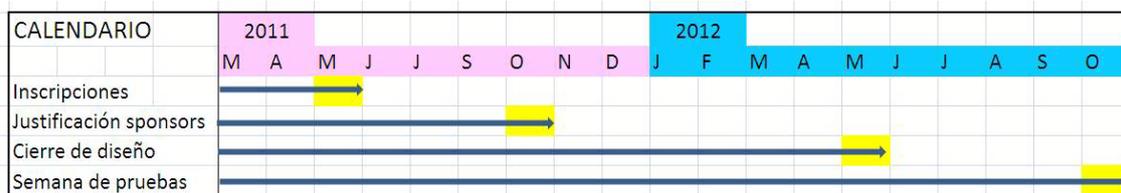


Ilustración 7: Periodos de competición (www.motostudent.com/ [8])

- **Inscripción.** Los equipos participantes deben rellenar la inscripción de participación, a la vez que nombrar a los alumnos que participarán en el equipo antes del 25 de Mayo de 2011.
- **Presentación y justificación de sponsors.** Los equipos participantes deben justificar de forma clara que empresas e instituciones sufragan la construcción del prototipo, antes del 8 de Octubre del 2011.
- **Presentación de diseño cerrado.** Antes del 31 de Marzo de 2012 los equipos participantes presentarán a la organización información gráfica en detalle del prototipo que será guardada por la Organización. Esta información debe permitir a los jurados, sin manipulación informática alguna, verificar los futuros prototipos. Esta documentación sólo será analizada por los jurados en las jornadas de competición y validarán que el prototipo presentado responde a esa información.

Este año se permitió un retraso en la fecha por petición de la mayoría de universidades, siendo la organización comprensiva a causa de la situación económica que se vive.



- **Semana de pruebas.** El fin de semana del 12 al 14 de Octubre. Los equipos presentarán en el circuito un prototipo para que sea revisado por los inspectores conforme a los aspectos dimensionales y de seguridad que indica el reglamento técnico.

Las verificaciones en el circuito que deben superar los prototipos son:

Las pruebas de seguridad en banco pretenden ser una garantía de robustez, fiabilidad y seguridad ante las pruebas en circuito. Así las motos deberán superar las siguientes pruebas:

1. Prueba de resistencia de chasis según especificaciones de reglamento técnico.
2. Prueba de frenada en banco de rodillos según especificaciones de reglamento técnico.
3. Análisis de gases de escape según especificaciones de reglamento técnico.

El procedimiento de verificación de los prototipos será detallado en el punto “3.2 Procedimiento de verificaciones técnicas”.

El proyecto industrial será analizado por un jurado de expertos elegidos por la organización.



3. DATOS DE PARTIDA

3.1 Reglamento técnico [8]

Todos los integrantes de UC3MOTO buscaron dentro del reglamento técnico alguna ventaja técnica que pudiese suponer un beneficio competitivo para la motocicleta a diseñar. Para ello se realizó un gabinete especialista del cual salieron diferentes propuestas.

Entre ellas, se destacó que el reglamento contemplaba la posible utilización de elementos móviles en la moto, y que dio lugar a ideas como:

- Un repartidor de masa. En caso de no llegar al peso mínimo de la moto sería una pieza móvil a modo de lastre cuyo objetivo sería mantener el centro de gravedad en el centro de la motocicleta, proporcionando más estabilidad al conjunto y una mejora en el comportamiento del sistema de suspensión.
- Una guardabarros con alerones móviles. Permite modificar el ángulo de incidencia contra el aire al accionar la leva del freno y así aumentar el peso sobre la rueda delantera y aumentar la capacidad de frenada.

Siendo la primera idea uno de los objetivos en el apartado de trabajos futuros y el guardabarros ya una realidad para este Motostudent 2.

3.1.1 La motocicleta: Orientación general y definición del carácter de la misma

A continuación, se expone la normativa técnica que influye para el diseño del chasis:

El objeto de la competición es un vehículo de dos ruedas a motor de combustión interna. Dicho vehículo será concebido para el pilotaje de un solo ocupante.

La motocicleta deberá ser un prototipo diseñado y construido para la competición. La especialidad son las carreras de velocidad.

3.2 Requerimientos generales de diseño

3.1.2.1 Dimensiones

Las dimensiones de la motocicleta son libres exceptuando algunos requisitos básicos tales como:

- La anchura mínima entre los extremos de los semimanillares ha de ser de 450 mm, *ilustración 8*.
- El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma toque el pavimento debe ser 50°. Dicha medición se realiza con la motocicleta descargada pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento, *ilustración 8*.

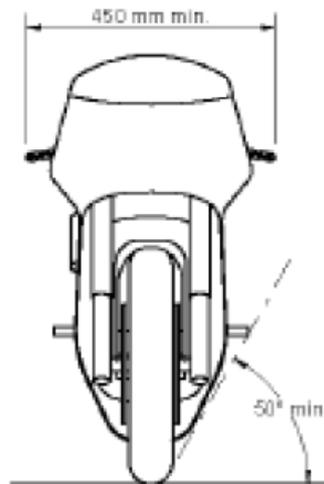


Ilustración 8: Croquis normativa de medidas (www.motostudent.com/ [8])

- La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100 mm en cualquier situación de compresión de suspensiones y reglajes de geometrías, *ilustración 9*.
- Límite posterior: Ningún elemento de la motocicleta podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero, *ilustración 9*.

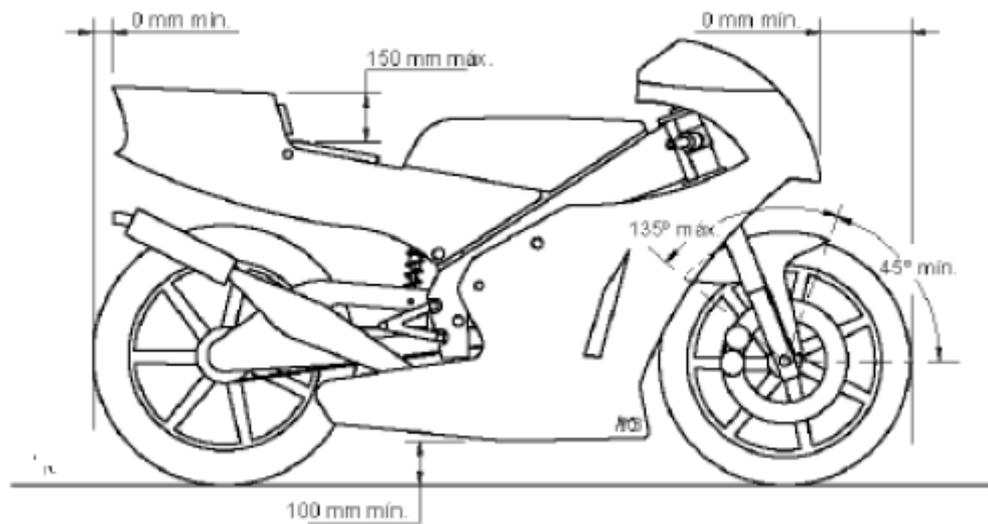


Ilustración 9: Croquis normativa de medidas (www.motostudent.com/ [8])

- La distancia de los neumáticos a cualquier elemento de la motocicleta diferente de la rueda no podrá ser inferior a 15 mm en toda posición de la misma y reglaje de geometría.
- La anchura máxima del asiento debe ser de 450 mm. No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento de la motocicleta del asiento hacia detrás excepto el sistema de escape, *ilustración 10*.

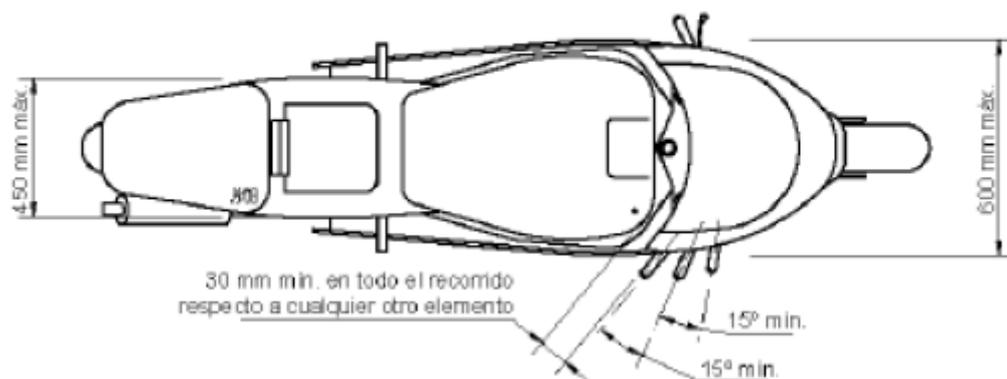


Ilustración 10: Croquis normativa de medidas (www.motostudent.com/ [8])



3.1.2.2 Pesos

El peso mínimo del conjunto de la motocicleta en orden de marcha incluido depósito, gasolina y líquidos no podrá ser en ningún momento de las pruebas inferior a 95 kg.

El peso se podrá verificar tanto al inicio, durante y al final de la competición. Está permitido lastrar el vehículo para alcanzar el peso mínimo.

3.1.3 Ciclística

3.1.3.1 Bastidor

El diseño, el proceso y el material utilizado para la fabricación del bastidor es libre excepto las siguientes consideraciones:

- No está permitido fabricar el chasis en titanio ni en aleaciones de titanio.
- El bastidor definitivo a presentar en la competición deberá haber superado el proceso de homologación por parte de la organización.
- No se permite el uso de un chasis comercial ni tan siquiera una unidad modificada. Debe de tratarse de un chasis prototipo de fabricación propia.

3.1.3.2 Dirección

En todo el recorrido de giro de la dirección no deberá existir ningún elemento que interfiera en una tolerancia de 30 mm entorno a los puños del manillar y accionamientos. El objetivo es evitar daños en las manos y dedos del piloto en caso de caída, *ilustración 10*.

El ángulo mínimo de giro de la dirección deberá ser de 15° medido a cada lado del eje longitudinal de la motocicleta, *ilustración 10*.



3.1.3.3 Freno delantero

Deberá utilizarse el conjunto de freno delantero (bomba, latiguillos y pinza) proporcionado por la organización.

Se permite la elección del tipo de pastillas y disco de freno y la sustitución de los latiguillos de freno por otros de diferente longitud.

La situación del accionamiento de la bomba de freno y la modificación de la leva de accionamiento es libre con la restricción de que, si su ubicación fuese el manillar, su longitud no podrá ser superior a 200 mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18 mm. La esfera podría estar rectificada con un plano de una anchura mínima de 14 mm, los bordes del plano han de ser redondeados.

Como requisito deberán tener protegidos los extremos con un tope de nilón de un radio mínimo de 8 mm.

Deberán disponer de protectores laterales para evitar que la bota del piloto pueda interferir con elementos móviles como cadena o neumático trasero.

3.1.4 Manillar

La anchura del manillar medida entre los extremos de los puños no podrá ser inferior a 450 mm *ilustración 8*.

Las puntas del manillar deberán ir protegidas con un tope de nilón redondeado de un radio mínimo de 8 mm.

No está permitido el uso de manillares o semimanillares contruidos en aleación ligera.

Los soportes del manillar o semimanillares deberán estar diseñados con el fin de minimizar el riesgo de fractura en caso de caída. Se deberán utilizar radios mínimos de 2 mm en el anclaje para facilitar deformaciones sin fractura.



3.1.5 Llantas y neumáticos

La organización suministrará las llantas y neumáticos y se prohíbe su modificación.

Sus dimensiones serán:

Delanteras 2.50"x17"

Traseras 3.50" x 17"

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en la fabricación de los ejes de ruedas.

Esta permitido el uso de protectores de nilón en los extremos del eje para posibles caídas. Estos protectores deberán ser redondeados con un diámetro igual o superior al del eje utilizado.

Los ejes de rueda no podrán sobresalir de su alojamiento en sus extremos más de 30 mm. No se consideran en esta medida posibles protectores de nilón.

3.1.6 Carenados

3.1.6.1. Restricciones dimensionales

- Todos los bordes y acabados del carenado han de ser redondeados. Radio mínimo 1 mm.
- La anchura máxima del carenado será de 600 mm, *ilustración 10*.
- Límite frontal: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero.
- Límite posterior: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical posterior trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático trasero.
- Lateralmente: El carenado no podrá cubrir lateralmente al piloto a excepción de los antebrazos (esta excepción solamente en posición de mínima resistencia aerodinámica del piloto). La llanta posterior no podrá cubrirse en más de 180°.



- Entre la altura del asiento y la parte más elevada del colín la cota máxima será de 150 mm.
- La utilización de guardabarros no es obligatoria.
- El guardabarros delantero no podrá cubrir más de 135° de la circunferencia del neumático medido desde la parte posterior del neumático con origen del ángulo en la horizontal que pasa por el eje de rueda. En esos 135° las dimensiones del guardabarros son libres.
- Esta permitido el uso de alerones como pieza del carenado. Deberán no superar la anchura del carenado o del colín ni superar la altura de los extremos del manillar. El radio mínimo será de 2 mm. Se permite el uso de dispositivos móviles aerodinámicos.

3.1.7 Motor

Deberá utilizarse el motor proporcionado por la organización. Éste se entregará sellado y se prohíbe totalmente su manipulación interna.

3.1.8 Sistema de refrigeración

3.1.8.1 Radiador

El número, la situación, el tamaño y la composición de los radiadores son libres siempre y cuando cumplan con los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.

3.1.9 Sistema de admisión de aire

3.1.9.1 Conductos de admisión

La composición, dimensiones y situación de los conductos de admisión de aire son libres siempre que éstas cumplan los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.



3.2 Procedimiento de verificaciones técnicas

Para el control y verificación de vehículos se creará una ficha para cada prototipo. Este documento será rellenado por los verificadores técnicos en la fase previa a la competición. Una vez contrastados todos los apartados se deberá dar la calificación de “apto” para poder participar en las diferentes pruebas. Tras la verificación se fijará un adhesivo de la organización comprobante de la aceptación del prototipo.

3.2.1 Homologación del chasis

La organización se reserva el derecho de verificar el chasis mediante una prueba previa a la competición. Para ello, se deberá presentar previamente un estudio teórico de cargas sobre el chasis.

La prueba se realizará en un potro de ensayo. Se aplicarán una carga horizontal progresiva sobre la pipa de la dirección de 275 kg en dirección longitudinal (dirección de marcha) a la motocicleta y vertical de 200 kg sobre el soporte trasero (sub-chasis). Estas cargas se aplicarán sucesivamente 5 veces consecutivas y se verificará que la medida es repetitiva en cuanto a deformación con un error entre medidas inferior a un 10% y que no aparece ningún tipo de fallo o fisura ni en los componentes ni en los elementos de unión. En la página web [8] se muestra el esquema del banco y los componentes suplementarios que debe cada equipo aportar a la organización para estas pruebas.

3.2.2 Verificación de cotas generales

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

3.2.3 Verificación de pesos

Se acondicionará un centro de verificaciones y controles donde los participantes podrán verificar su vehículo.

Se podrá solicitar controles de pesos en cualquier fase de la competición. Dichos controles se realizarán sobre el vehículo en orden de marcha con todos sus sistemas y componentes además de los líquidos necesarios para su uso.



Inicialmente se realizará una calibración del sistema de medida. Posteriormente, se realizarán tres pesadas del vehículo y la media de los tres resultados será el valor asignado. La tolerancia en la medida es 1 kg por debajo del mínimo.

3.2.4 Verificación del cumplimiento de la normativa de seguridad

Se realizará una verificación completa de cada uno de los puntos referentes a seguridad de cada uno de los apartados descritos en este reglamento. Por encima de cualquier criterio técnico a nivel de prestaciones o construcción del vehículo deberá prevalecer, como prioritario, la seguridad de los participantes. Para ello, todos los prototipos deberán cumplir los requisitos de seguridad en cualquier fase de la competición. De manera especial se hace hincapié en la verificación del vehículo tras haber sufrido un accidente con el fin de garantizar la seguridad del mismo.

3.3 Competición: pruebas y carrera

Los equipos que hayan superado las pruebas de seguridad realizarán en pista una prueba de mínimas prestaciones. La organización facilitará a los equipos 2 tandas de 40 min durante la prueba de evaluación de prestaciones. Los requisitos mínimos se refieren a durabilidad y prestaciones mínimas, así las motos para ser consideradas aptas para la carrera deberán:

Realizar un mínimo de 7 vueltas seguidas a un promedio no inferior a 110 Km/h. Las motos que hayan superado la prueba anterior, participarán en una carrera de velocidad en circuito.

La parrilla de salida se establecerá según la clasificación obtenida en la prueba anterior. Realizando un promedio de las 7 vueltas seguidas realizadas en las tandas de evaluación.

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



4. CHASIS DE MOTOCICLETA

4.1 Historia de la motocicleta [7]:



Ilustración 11: Primera motocicleta de la Historia, ingeniero Gottlieb Daimler (1885)

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.

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

“Rápidas” es un concepto relativo, que actualmente pocos lo emplearían describir una moto que apenas alcanzase los 40Km/h. Sin embargo, ésa era la velocidad máxima de la primera moto de serie, construida en Alemania por Hildebrand y Wolfmüller en 1894. Ha de tenerse en consideración que el freno trasero de dicha dos cilindros de 1500 cc refrigerada por agua era una simple barra de metal arrastrada por el suelo.



En cualquier caso la moto de Hildebrand y Wolfmüller 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 11*.

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

A medida que la demanda de transporte personal crecía a ambos lados del atlántico, aumentaron las empresas que construían motocicletas con las más diversas configuraciones de motor. Poco tardaron los diseñadores 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.

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

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 cm³ y 500 cm³ 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 Bélgica



de 1957. No obstante Guzzi se retiró de las carreras ese mismo año, antes de que la V8 tuviera oportunidad de dejar huella.

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

Para 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 las bien diseñadas dos cilindros en V de Ducati o las rápidas y ligeras cuatro cilindros japonesas. Si lo que se quería era velocidad pura, no había nada comparable a la aerodinámica 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.

4.2 Tipos de bastidores de motocicleta:

Según el tipo de bastidor se puede clasificar las motos en 3 grandes grupos:

4.2.1. Chasis tubulares

Este tipo de chasis se caracteriza por estar constituido por tubos un entramado de tubos circulares de diferentes diámetros y soldados unos con otros creando una estructura rígida. También es bastante usual combinarlo con tubos rectangulares para hacer el sub-chasis o algún tipo de anclaje con el motor. Históricamente han sido construidos en acero, ahora debido a las mejoras técnicas en soldadura se construyen en aluminio tanto a nivel comercial como en competición, el problema de este material es que su punto de deformación plástica se encuentra antes que con el acero, deformándose con esfuerzos menores.

Vulgarmente son considerados como chasis europeos ya que empresas como Ducati, Gilera, Derbi o Bultaco fueron las pioneras en este sistema y tuvieron un gran desarrollo en la fabricación de chasis con este tipo de estructuras. Según su geometría se puede encontrar diferentes subclases:

4.2.1.1 Mono tubular de jaula:



Ilustración 12: PitBike

Opción utilizada en motos destinadas a un público especial o concreto, véase en pitbikes o motos pequeñas en la que por su reducido peso no hay problemas de rigidez en la zona delantera.

4.2.1.2 Triangulados [4]



Ilustración 13: Chasis Derbi Triangulado de competición

Aunque este tipo de chasis puede conseguir una eficiencia estructural extremadamente elevada, no ha encontrado demasiados seguidores entre los fabricantes más grandes. Probablemente esto se debe a que debido a la forma y al

tamaño de los tipos de motores más comunes, hace falta una estructura ancha y complicada.

El empleo de tubos largos de pequeño diámetro puede suponer un problema, ya que el motor los puede hacer entrar en resonancia, debido a sus fuerzas de inercia que no se encuentran en equilibrio. La solución es elevar la frecuencia propia de los tubos, bien haciéndolos más cortos, bien aumentando su diámetro.

4.2.1.3 Cuna mixta desdoblada:



Ilustración 14: Cuna mixta desdoblada

Se puede observar la viga central que une parte delantera y trasera de la moto, además de ser uno de los anclajes del motor. La cuna doble sale de la pipa de la dirección hacia abajo envolviendo el motor.

4.2.1.4 Monotubular:

Este tipo de chasis ha sido empleado mayoritariamente en motos de pequeña cilindrada que se conocen coloquialmente como vespinos, pero esta denominación no es correcta, ya que Vespino es una marca y no una clase de chasis, pero con el paso del tiempo y su calidad demostrada, ha pasado a ser una denominación de motocicleta.



Ilustración 15: Honda Zanella Pocket 50 cc

Hay otras marcas que usan este tipo de bastidor, pero que buscan la innovación o la diferenciación, Bimota, Triumph. En la *ilustración 16* se puede ver el bastidor de uno de los modelos de la marca Bimota que está compuesto solo por una gran barra central cromada que hace la misma función que en los vespinos, en este caso la barra va por encima del motor.



Ilustración 16: Chasis monotubo Bimota

4.2.1.5 Doble cuna abierta:



Ilustración 17: Moto2 RZ-Honda Mundial del motociclismo.

En esta moto se ve un chasis completamente tubular, incluido basculante. También se observa como el sub-chasis, parte cromada de la moto es rectangular y queda unido perfectamente con el chasis tubular.



Ilustración 18: Moto 3 Sherco. Mundial de motociclismo.

La *ilustración 18* corresponde a la futura Moto3 de la empresa Sherco del campeonato del mundo para 2012 (finalmente no participo). Las barras van orientadas hacia los anclajes del motor y quedan unidas a la dirección.

Este concepto de moto une un chasis tubular con un basculante de fundición en aluminio hueco fabricado en una maquina de Control Numérico.

4.2.1.6 Cuna sencilla tubular abierta:

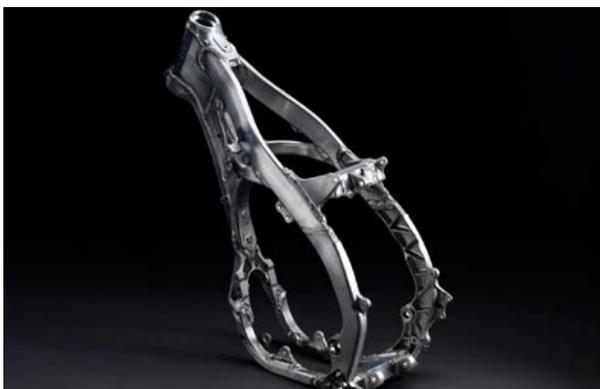


Ilustración 19: Yamaha Yzf 250



Ilustración 20: Husqvarna 250cc

Este tipo de chasis son utilizados en motos de Cross o enduro, que se catalogan coloquialmente como motos de campo. Se les exige una gran flexión longitudinal para aguantar las sollicitaciones de este tipo de disciplina.

4.2.1.7 Doble cuna cerrada tubular



Ilustración 21: Bultaco

4.3.1.7 Chasis monocasco

Es la modalidad de chasis utilizado por Vespa o Lambretta durante muchos años. La característica principal del chasis monocasco es que la chapa estampada hace las funciones de chasis y a la vez de carrocería. Esta técnica se utiliza en su mayoría de los diseños de automóviles (carrocería auto-portante).



Ilustración 22: Vespa 150cc. Modulo 1960

Es un tipo de chasis muy inusual en otros modelos de motocicletas, sin embargo es utilizado en el modelo deportivo de Kawasaki, la ZZR 1400, fabricada en fundición de aluminio.



Ilustración 23: Chasis Kawasaki ZZR 1400

4.2.2 Auto-portante:

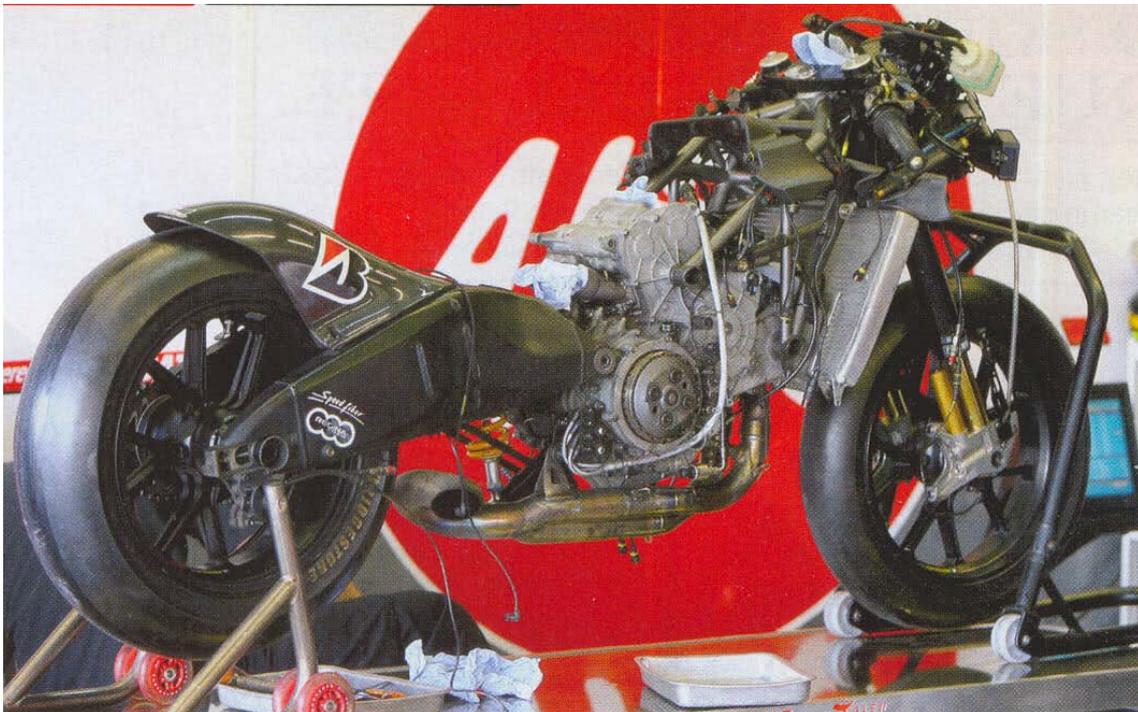


Ilustración 24: Ducati Gp10. Mundial de motociclismo 2008

Los bastidores considerados auto-portantes tienen como peculiaridad la utilización del motor como parte estructural, por tanto sufre esfuerzos al ser parte del

chasis. Es la unión entre la parte delantera y el basculante, las tres partes de la motocicleta son necesarias para poder mantenerse como un bloque unido.

Como dato adicional el equipo Ducati Corse diseño en 2007 un chasis autoportante fabricado en fibra de carbono.



Ilustración 25: Ducati Gp9. Mundial de motociclismo 2007. (Moto campeona del mundo)

4.2.3 Chasis doble viga

Doble viga mecanizado ó deltabox son los chasis considerados japoneses, marcas como Yamaha, Honda Kawasaki o Suzuki utilizan este tipo de chasis desde sus orígenes.

Aunque la verdad es que este tipo de chasis fue creado por primera vez en España, por un ingeniero español que revoluciono el mundo de la competición, Antonio Cobas.

Fue el primero que unió la pipa de dirección directamente con el basculante. Este tipo de chasis es más fácil de diseñar, ya que la simulación resulta más predecible, al tratarse de dos vigas unidas a dos puntos fijos.

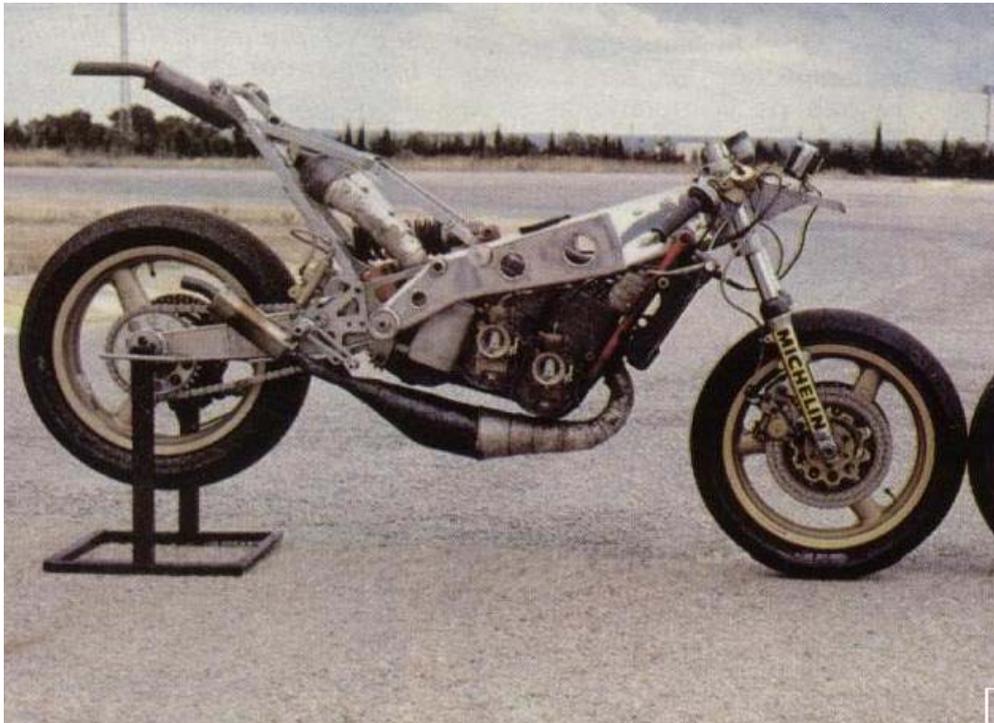


Ilustración 26: Primer Deltabox, diseñado por Antonio Cobas.

En la *ilustración 27*, se observa como Antonio Cobas realiza unos orificios para aligerar el peso en las zonas donde está sobredimensionado el chasis, además de controlar la rigidez del bastidor.

En la siguiente foto se obserca el chasis con el que disputara el mundial de motociclismo Jorge Lorenzo en 2013, la filosofía del delta box o doble viga sigue intacta, la gran diferencia entre el chasis de Antonio Cobas y los chasis japoneses más actuales está en la evolución del material y los procesos de fabricación.

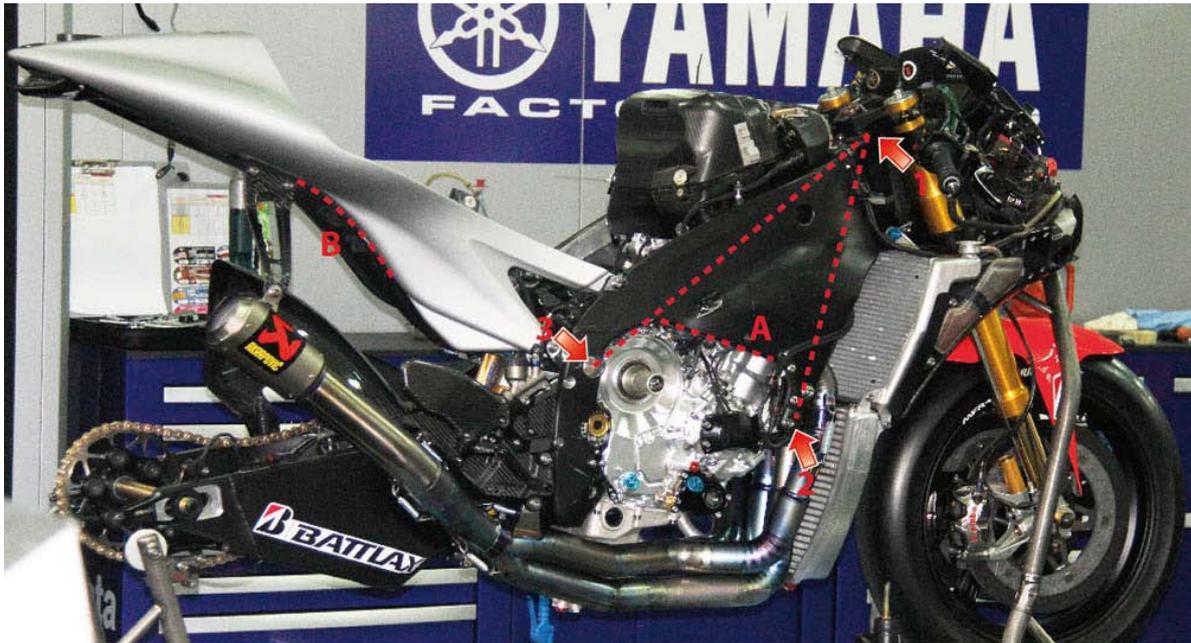


Ilustración 27: Yamaha M1 2013. Mundial de motociclismo. (www.gpone.com [15])

Merece especial mención la *ilustración 27*, ya que a falta de que se confirme a lo largo de la temporada 2013 de MotoGP, se trata el chasis doble viga más moderno y mejor de la historia hasta la fecha. El motor como en el chasis de Antonio Cobas, está sujeto en los puntos 2 y 3.

Las dos siguientes fotos muestran como se puede ver, chasis doble viga, de momento son únicamente prototipos que no han salido a la luz por parte de Yamaha y Aprilia para competir en un futuro en la categoría de Moto3.



Ilustración 28: Chasis Yamaha (aluminio) y Aprilia (fibra de carbono) diseñados para la categoría de Moto3

5. METODOLOGIA

5.1 Datos de partida y material estándar utilizado

La organización obliga al uso del material que ellos mismos se encargan de proporcionar. A continuación, en las *ilustraciones 29, 30 y 31* se muestran los elementos que afectan a este proyecto:

- Llanta trasera: exactamente es la llanta de la Yamaha YZF 125R

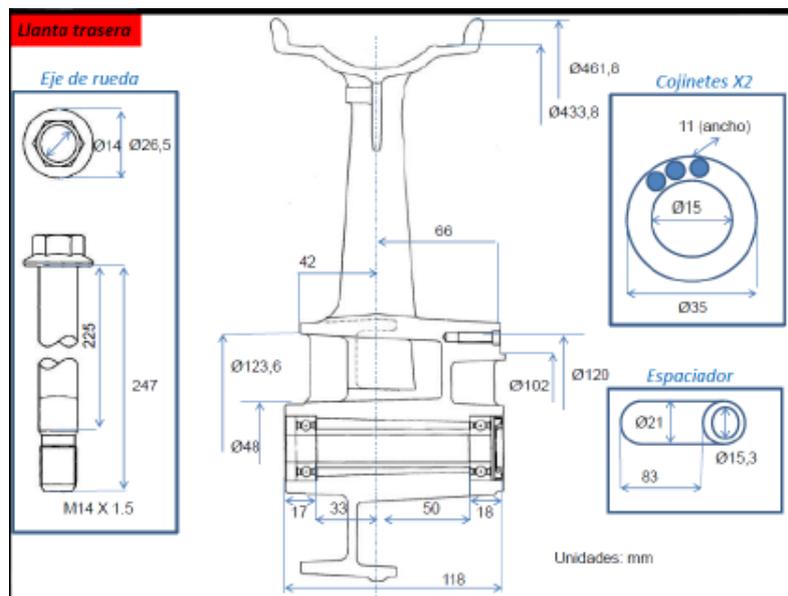


Ilustración 29: Plano llanta trasera

- Amortiguador trasero: se trata de un amortiguador muy básico con un recorrido útil de 50mm y 54mm entre topes.

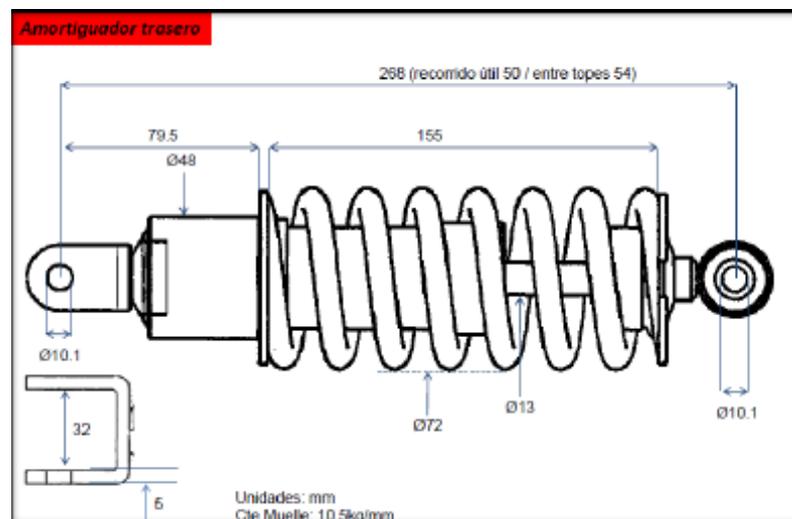


Ilustración 30: Plano amortiguador trasero

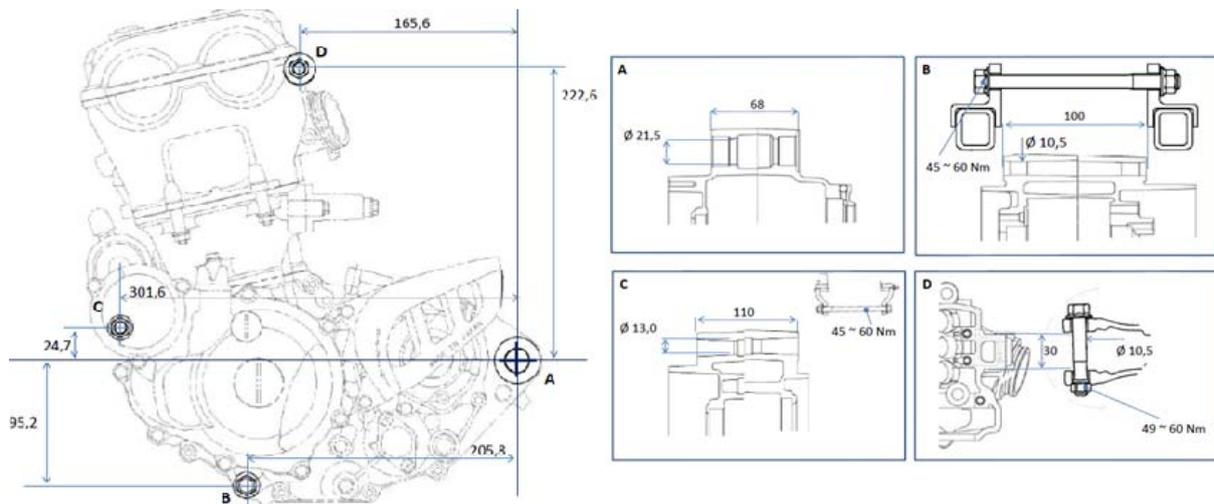


Ilustración 31: Plano motor Yamaha YZ 250 (cotas realizadas por equipo MS2) (www.motostudent.com/ [8])

5.2 Herramientas de cálculo y diseño

Para el diseño de este proyecto se va a usar el programa de diseño asistido por ordenador “Pro Engineer” ya que la propia organización de la competición exige la utilización para los diseños de este programa. El programa consta de distintos módulos para poder abordar el problema completo, tanto diseño como análisis por elementos finitos.

5.3. Conceptos básicos para la creación del chasis de una motocicleta

Mencionar que en el caso de los bastidores, la estructura de éste cobra una gran importancia, ya que a diferencia de los coches al tener solo dos puntos de apoyo, se comporta como un mecanismo y no se mantiene vertical por su propia geometría.

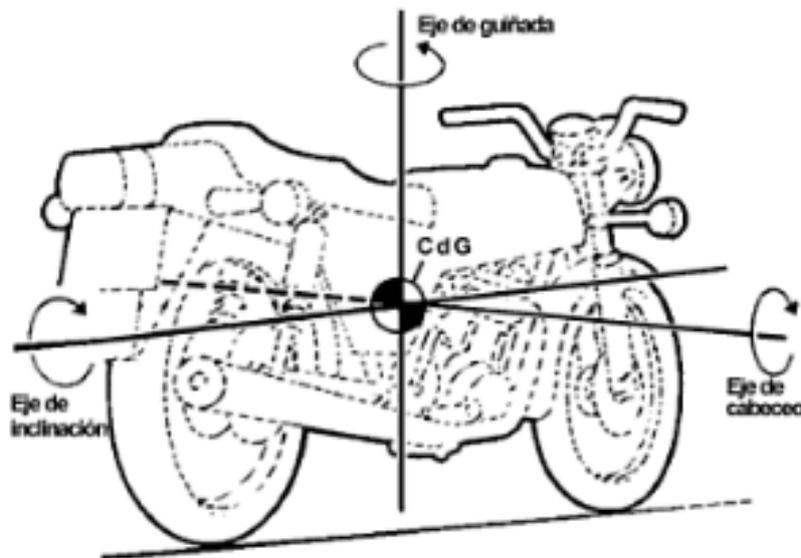


Ilustración 32: Ejes de rotación motocicleta. (Tony Foale: “Motorcycle handling and chassis design: the art and science”. [1])

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

Por lo tanto, se trata de conseguir cierta deformación controlada de los elementos estructurales cuando la motocicleta se encuentra inclinada. De esta forma la moto es capaz de absorber parte de la energía generada cuando atraviesa un bache y esta inclinada, ya que en esta situación los amortiguadores de la motocicleta no son capaces de trabajar correctamente. En esta situación aparecen cargas sobre los amortiguadores que tienen componentes perpendiculares a la dirección

5.3.1 Influencia del chasis en curva

5.3.1.1 Flexión lateral

Para girar en las curvas se desplaza el peso hacia el lado deseado consiguiendo que la moto se incline y empiece a girar.



Ilustración 33: Max Biaggi Yamaha 500cc 2001

Esto provoca que en pleno giro la única parte que amortigua las irregularidades del terreno sea el propio chasis, ya que la suspensión al estar con un ángulo muy pequeño respecto del suelo, no puede trabajar de manera correcta, esto se debe a que el peso del conjunto piloto-moto recae prácticamente perpendiculares a las barras del amortiguador, lo que le impide que se comprima el muelle y se expanda el amortiguador con el aceite u otro componente líquido.



Ilustración 34: variabilidad del CDG en función de la inclinación (www.motogp.com/es [11])

En la *ilustración 34* se ve como cambia la altura del CDG en función del ángulo de inclinación de la moto. Cuanto mayor sea el ángulo la componente del peso se proyectara más sobre la suspensión y esta trabajara de manera más eficiente.

La ecuación que dice el porcentaje de peso que puede llegar a absorber la suspensión en función del ángulo es el teorema del seno:

$$\sin \alpha = \frac{\text{carga sobre la suspension}}{\text{peso conjunto}}$$

Cuando el ángulo es muy pequeño las suspensiones soportarán las fuerzas originadas por la inercia de estar en movimiento, y que tiende a que la moto vaya hacia el exterior de la curva, fuerza centrípeta. En cálculos dinámicos se podría despreciar dependiendo de la exactitud que se desee.

La fuerza resultaría del micro-desplazamiento del neumático delantero hacia el exterior de la curva. Cuando esta frecuencia aumenta, comienza una oscilación creciente en el muelle de la suspensión que acaba desestabilizando la motocicleta.

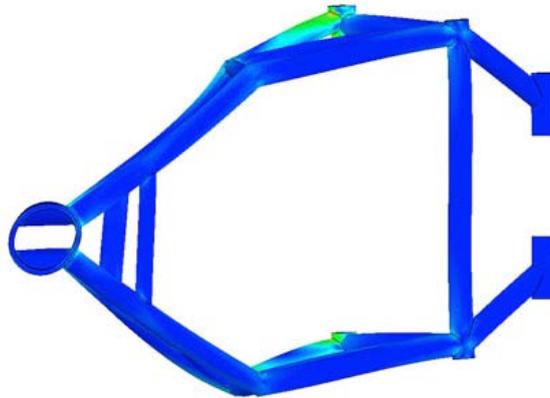


Ilustración 35: Desplazamiento chasis en flexión lateral (www.bottpower.com [14])

Para ello, como se observa en la *ilustración 35*, en los bastidores de motocicletas, se busca una flexibilidad lateral del chasis en el eje de simetría de la moto. Con ello se consigue a través de las deformaciones absorber las imperfecciones del terreno.

Honda: “*Nuestros chasis flectan como las palmeras ante el viento*”

5.3.1.2 Rigidez torsional

- Aceleración a la salida de la curva

Sin embargo, esta flexibilidad en el bastidor de la motocicleta que se indicó en el apartado anterior, cae enfrentado con otra de las características necesarias para una buena dinámica, que es buscar la mínima torsión en el eje de inclinación provocado por las diferentes fuerzas que transmiten las ruedas al chasis y que tienden a desalinearse.



Ilustración 36: Mick Doohan (www.motorcyclistonline.com/ [12])

En la *ilustración 36*, se puede observar como la rueda trasera tiende a deslizar hacia fuera, haciendo girar la moto hacia el interior de la curva. El piloto gira el manillar hacia fuera de la curva (contra-manillar) manteniendo la trayectoria que desea y evitando el giro excesivo de la moto hacia el interior del vértice. Esto origina una torsión en el chasis provocada por la inercia del basculante a seguir la trayectoria de la rueda trasera

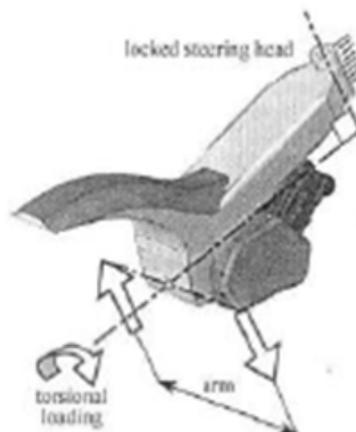


Ilustración 37: Torsion trasera. (Tony Foale: “*Motorcycle handling and chassis design: the art and science*”. [1])

- Paso por curva



Ilustración 38: Casey Stoner (www.motogp.com/es [11])



Ilustración 39: Vista Frontal Honda RCV 2013 (www.motogp.com/es [11])

También el chasis se ve solicitado a un esfuerzo torsional cuando el piloto se encuentra inclinado sobre el vértice de la curva, *ilustración 38*, este (el piloto) carga la mayoría del peso sobre la rueda delantera para reducir el radio de giro, lo que provoca un momento flector en la horquilla de la suspensión, *ilustración 39*, que se transmite como un esfuerzo torsor en el chasis, *ilustración 40* con la fuerza aplicada en el contacto de la rueda con el asfalto, y un brazo o palanca que es la longitud desde el punto donde se encuentra la fuerza hasta la pipa de dirección.

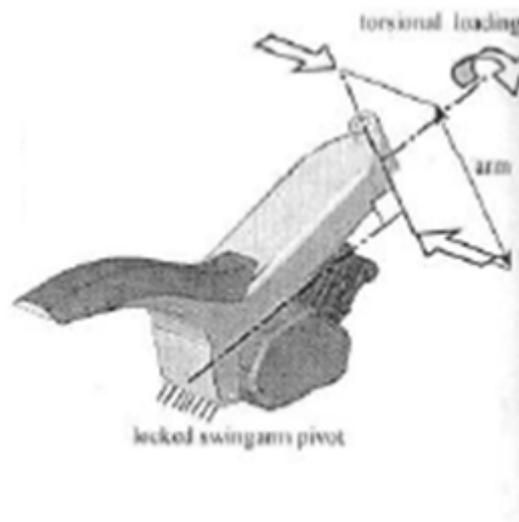


Ilustración 40: Torsion Delantera (Tony Foale: "Motorcycle handling and chassis design: the art and science". [1])

Esta acción provoca deformaciones, *ilustración 41*, que modifican la dinámica del vehículo e inercias másicas por la elasticidad de las horquillas de la suspensión y que deben ser corregidas con la rigidez del chasis con el fin de estabilizar la motocicleta.

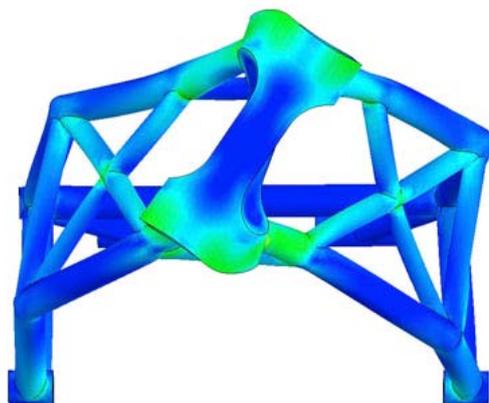


Ilustración 41: simulación de torsión en la pipa "cabeceo" (www.bottpower.com [14])

5.3.2 Influencia del chasis a la entrada de la curva (Frenada)

5.3.2.1 Flexión longitudinal

Otro punto importante en la conducción de una motocicleta es el momento de la frenada, la estructura debe soportar los esfuerzos a los que se le ven sometidos debido a la deceleración.



Ilustración 42: Kevin Schwantz (izq) y Wayne Gardner (derch) en la frenada con más historia del mundial de Motociclismo (Hockenheim 1991)

El chasis deberá controlar la deformación dentro de su rango elástico a lo largo del eje de la marcha, proporcionando cierta progresividad y aumentando el feeling sobre el comportamiento de la moto.

Sin embargo, esta deformación debe ser controlada para no descompensar el centro de gravedad del conjunto de la moto, ni que el resto de elementos conectados al chasis con diferente rigidez como puede ser el motor o sub-chasis puedan romperse o separarse de su punto de interface.

Para ello se juega con distintas rigideces a lo largo del chasis mediante diferentes secciones o formas, otra manera que está actualmente muy en uso en las categorías del mundial de motociclismo, es la combinación de diferentes materiales.



Ilustración 43: Revestimiento de fibra de carbono en el chasis Kalex del Equipo Dynavolt Intact GP Moto2. (www.motogp.com/es [11])

En la *ilustración 43* puede observarse un revestimiento en fibra de carbono para rigidizar la parte longitudinal del chasis.

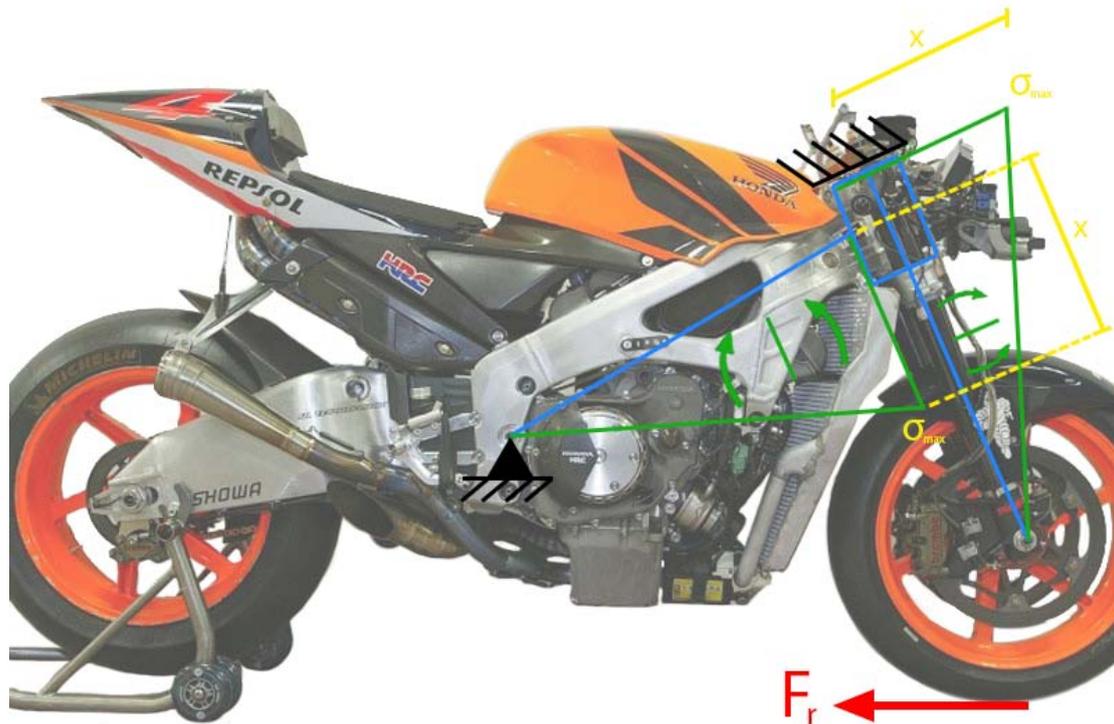


Ilustración 44: Vista lateral Honda Hrc 2011. (www.motogp.com/es [11])

Como en el caso de torsión o flexión el chasis recibirá un momento aplicado en la pipa de la dirección provocada por la fuerza de rozamiento. En este caso, la fuerza es paralela a la dirección de marcha, *ilustración 44*.

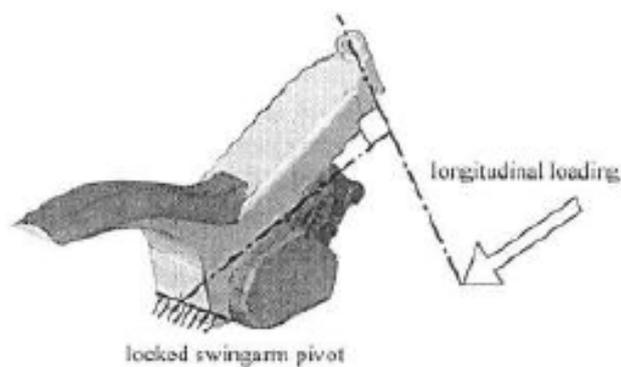


Ilustración 45: Rigidez Longitudinal (Tony Foale: "Motorcycle handling and chassis design: the art and science". [1])

Por tanto, el chasis a de diseñarse teniendo en cuenta 3 factores:

- La flexibilidad lateral
- La flexibilidad longitudinal
- La torsión



5.4 Criterios en la construcción del bastidor

Los objetivos principales en el diseño de un chasis son la ligereza y la rigidez. La rigidez va a ser el factor fundamental ya que es la que va a influir en el comportamiento de la moto, con una alta rigidez se asegura la alineación de las dos ruedas ante diferentes esfuerzos, pero como es habitual siempre se debe tener cierto compromiso con el peso.

Además hay muchos más parámetros que se deben tener en cuenta para conseguir que el conjunto se aproxime lo máximo a las necesidades que se buscan con el objetivo de ser lo más competitivo posible.

Estos parámetros se clasificarán en dos grandes ramas, por un lado la parte orientada a las prestaciones en circuito, y por otro lado se evaluará la posibilidad de llevar a cabo el bastidor con los medios que se disponen en las mejores condiciones.

De los resultados obtenidos resultará la motocicleta que más se acerque a nuestros requisitos funcionales.

5.4.1 Parámetros relacionados con las prestaciones en circuito

- **Rigidez**

La estructura de la moto debe ser capaz de mantener los parámetros geométricos dentro de unos valores adecuados ante todas las condiciones de carga que se pueden dar. La rigidez está relacionada con la deformación temporal que sufre la estructura cuando se le aplica una carga y después se descarga. Por lo tanto, se tratará de diseñar un bastidor con una rigidez alta que nos garantice una seguridad estructural. Esta rigidez se deberá tener en cuenta siempre en relación al peso y cantidad de tubos a implementar, ya que un entramado complejo y rígido dificultaría la fabricación.

- **Cargas**

El bastidor tendrá que ser capaz de soportar todas las cargas sin entrar en la zona plástica del material. Habrá situaciones en las que soportará el peso de todo el conjunto de la moto más el peso del piloto debido a la transferencia de cargas. También hay que tener en cuenta las cargas dinámicas que se generen con el movimiento de la moto, aunque en el estudio de este chasis se desestimarán, dejándolo para futuros proyectos de mejora.

El estudio de elementos finitos se realizará mediante el módulo *Mechanica* del programa Pro Engineer que se configurará en el modo de mallado automático y



single-pass, siendo estos modos los mejores para nuestro estudio. Con el chasis definitivo se realizara un segundo análisis utilizando el método “no lineal”, método con mayor número de iteraciones y por tanto, más preciso y depurado. Este estudio además, elimina las concentraciones de tensión debido a volúmenes complejos, aristas o vértices, centrando su estudio en largas deformaciones.

- **Peso**

En todos los vehículos de competición el peso es una característica importantísima, influye en el aspecto dinámico de la motocicleta. Un menor peso, supone menores inercias, punto fundamental en el paso por curva, aceleración y frenada. El reglamento técnico de la competición incluye que el conjunto debe llegar a un peso mínimo de 95kg.

- **Deformación**

Se debe conseguir una deformación controlada en todo el chasis, siempre con un margen de seguridad que dependerá del límite elástico del material.

En el caso de los chasis de motocicletas, la deformación es un parámetro importantísimo, y de su control se distinguirá un chasis ganador de uno convencional.

- **Facilidad de reglaje**

Hace referencia a la posibilidad de realizar cambios sobre la moto en el menor tiempo posible, es decir que sean accesibles los elementos modificables como el amortiguador, inyección, filtros. Esta función es necesaria en las motos de competición ya que se encuentran continuamente sometidas a cambios durante las carreras.

- **Montaje**

Se deberá tener en cuenta para que los elementos unidos al chasis tengan facilidad de ser montados y desmontados con relativa velocidad.

- **Feed back piloto**

Para el piloto y para cualquier usuario de motos es importante que el conjunto le transmita sensación de seguridad a primera vista. Los chasis alternativos consiguen igualar las prestaciones de los más convencionales, pero el piloto tiende a desconfiar al no saber cómo se comportará el conjunto y anticiparse a esas reacciones. Este parámetro cobra gran importancia en este campeonato ya que los pilotos de pruebas tendrán poco tiempo para acoplarse a la moto y dar una opinión sobre ella.

- **Facilidad de evolución**

Posibilidad de poder mejorar las prestaciones del conjunto con pequeños cambios geométricos o la incorporación de un elemento extra.



Un chasis monoviga por ejemplo, no permite otro cambio que no sea el rediseño de la propia viga.

- **Resistencia a impactos**

Debe tenerse en cuenta que el bastidor será utilizado para la competición donde las caídas e impactos que pueda sufrir son más que probables. Tendrá que ser diseñado para resistir y aguantar ciertos golpes. El presupuesto y tiempo de fabricación hacen que el bastidor sea una pieza única de la que no habría repuesto, y por tanto, en caso de rotura habría que abandonar la carrera.

5.4.2 Parámetros relacionados con los medios disponibles, fabricación, otros

- **Fabricación**

En el proceso de fabricación se divide en:

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

-*Disponibilidad de empresa especializada*: Disponer de la maquinaria para la correcta fabricación del prototipo.

-*Coste*: Disponer del patrocinio suficiente para poder sufragar tanto del material a utilizar como la mano de obra necesaria para la fabricación.

- **Material**

El material seleccionado influirá tanto en el diseño como en el coste del prototipo, ya que va ligado a la calidad del metal, es decir la capacidad del material a soportar tensión.

- A mayor límite elástico mayor precio.
- A mayor material utilizado mayor precio.

Se escogerán los tubos dentro de las posibilidades que nos da Reynolds (acero) o Sanmetal (aluminio). La elección se llevara a cabo dentro de lo ofertado en el catálogo, en función de los diferentes diámetros y límites elásticos.



- **Semejanza de diseño/realidad**

Se estimará la semejanza entre los resultados obtenidos en el ordenador por el programa CAD y los valores reales. Esta semejanza se verá influenciada por la complejidad de la geometría, número de uniones o puntos singulares del chasis. El análisis de elementos finitos será más real cuanto más sencilla sea la geometría.

- **Innovación tecnológica**

Este factor se añade para tratar de dar continuidad a la filosofía de mis compañeros del MotoStudent I, ellos ganaron el premio a la innovación y el equipo de MotoStudent II tratará de seguir este camino, intentando sorprender al jurado en alguno de los componentes del conjunto de la motocicleta.

- **Estética**

Al tratarse de una competición de ingeniería donde se valora tanto el diseño como la innovación es importante que la estética del chasis sea buena. Además una buena estética contribuirá al feed back del piloto.

- **Viabilidad con el resto de la motocicleta**

Se estudiará la facilidad de compaginar el chasis con el resto de áreas de la motocicleta. Es decir, la facilidad para unir los puntos de interface con el resto de componentes.

5.5 Tablas resumen de los parámetros requeridos

Utilizando los parámetros mencionados en el apartado anterior 5.4, se confeccionarán dos tablas con los chasis que a priori se estiman que se acercaran mas a nuestro objetivo.

La primera tabla, *ilustración 47*, englobará los parámetros relacionados con las prestaciones en circuito. Para poder crear una clasificación y observar las diferencias se realiza un baremo dando puntuaciones de uno a tres puntos en función de la prestación que cada chasis otorga para cada parámetro.

Prestación	Puntuación
Alta	3
Media	2
Baja	1

Ilustración 46: Baremo de puntuación

En función de esta ponderación, la tabla queda completada de la siguiente forma:

FOTO	TIPO CHASIS	RIGIDEZ	CARGAS	PESO	DEFORMACION	FAC. REGLAJE	MONTAJE	FEED BACK	FACILIDAD EVOLUCION	RESISTENCIA IMPACTOS	Puntuacion Total
	TRIANGULADOS	3	3	1	1	1	1	2	2	2	16
	DOBLE CUNA ABIERTA	3	3	3	2	3	2	2	3	3	24
	CUNA SENCILLA ABIERTA	2	2	3	1	2	3	1	1	1	16
	DOBLE CUNA CERRADA	1	2	3	1	1	1	2	2	2	15
	AUTOPORTANTE	3	3	3	1	3	3	2	3	3	24
	DOBLE VIGA	3	3	2	3	3	3	3	2	2	26

Ilustración 47: Tabla prestaciones en circuito

La segunda tabla, *ilustración 48*, englobara los parámetros relacionados con la fabricación y viabilidad de proyecto. El baremaje se ha realizado dando puntuaciones de cero a nueve puntos en función de la prestación que cada chasis otorga para cada parámetro, siendo 9 la nota más positiva.

Cabe señalar que en la columna “Material” obtienen mejor puntuación los chasis que requieren menor material, como en el caso del auto-portante, o los que por su geometría requieren de un material de menos calidad.

FOTO	TIPO CHASIS	Fabricación Dific. Dispon. Coste	Material	Semejanza	Innovación tecnológica	Estética	Viabilidad	Puntuación Total
	TRIANGULADOS	3 6 8	7	4	4	6	5	43
	DOBLE CUNA ABIERTA	8 8 9	6	7	8	7	8	61
	CUNA SENCILLA ABIERTA	8 8 8	6	5	4	5	5	49
	DOBLE CUNA CERRADA	8 8 8	6	6	7	6	5	54
	AUTOPORTANTE	8 9 9	8	8	8	5	4	60
	DOBLE VIGA	0 0 2	0	9	4	7	7	29

Ilustración 48: Tabla medios, fabricación, otros

5.6 Análisis de los resultados

Según los resultados obtenidos se puede apreciar que en las prestaciones en circuito, el chasis doble viga es superior a los tubulares, cosa que a priori se podía adelantar ya que la mayoría de las motos de competición utilizan este tipo de bastidor.

Sin embargo, el chasis doble cuna abierta y el auto-portante obtienen un resultado muy parejo.

Cabe señalar que la moto campeona del mundial de motociclismo 2012 en la categoría de Moto 3, tanto en constructores como en pilotos es una KTM con chasis doble cuna abierta, *ilustración 49*.



Ilustración 49: KTM Moto3 2012 (www.blog.derestricted.com [17])

Y el campeón del mundo de 2007 en MotoGP, Casey Stoner, pilotaba una Ducati tubular con chasis auto-portante, *ilustración 50*.

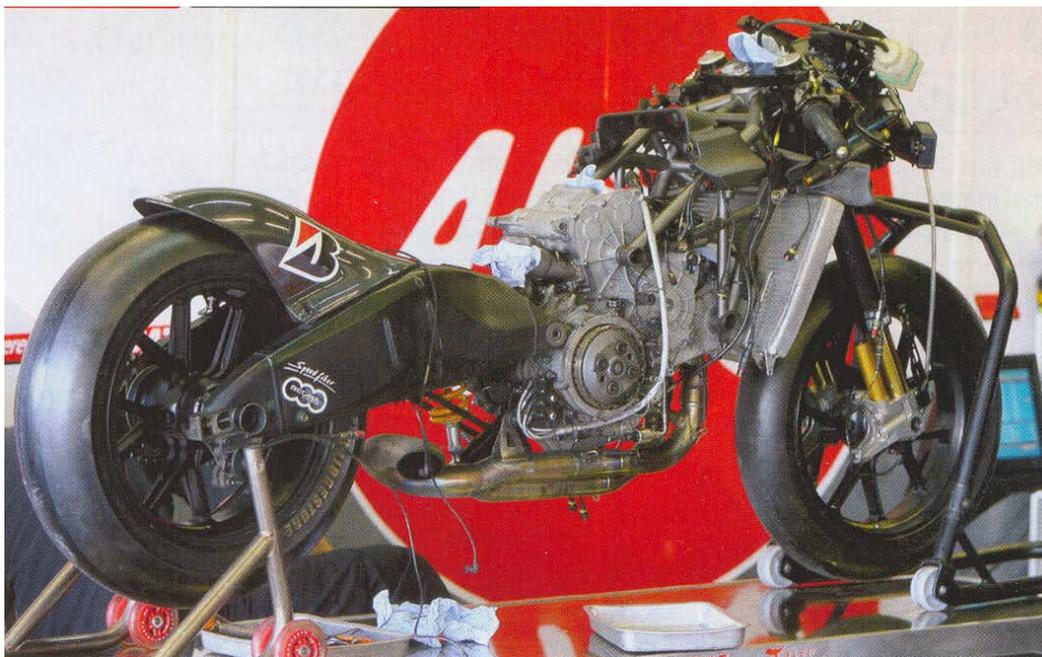


Ilustración 50: Ducati GP9 2007



La diferencia entre un chasis tubular y un chasis doble viga mecanizado usados en competición radica mayoritariamente en el peso y la deformación.

Por un lado, con una buena geometría se pueden conseguir unos datos muy similares en términos de rigidez. El hándicap se produce en la cantidad de material utilizado para hacer que el bastidor sea lo suficientemente rígido y esto se traduce a peso. Con el chasis tubular se podrá diseñar un bastidor más ligero, y se tendrá la posibilidad de escoger entre varios materiales. El chasis doble viga obliga a utilizar aluminio para que el peso no se dispare.

Para hacer una estimación, la diferencia de peso en el mundial de Moto3 está en 2kg entre el tubular (82kg) y el doble viga (84kg).

(Son datos suministrados por los propios equipos a la prensa especializada, se ha de entender que son orientativos, ya que el peso es uno de los secretos mejor guardados por las marcas).

(La información correspondiente a los pesos se encuentra en la bibliografía en los puntos [11], [13], [16], [17] y [18] de la bibliografía.)

En contra partida, el bastidor doble viga tiene una deformación más progresiva y más fácil de controlar y determinar a lo largo del chasis.

En la segunda tabla correspondiente al proceso de elaboración del bastidor, se obtuvieron unas diferencias más que significativas. Continuando con el chasis doble viga, la gran diferencia se obtiene por la imposibilidad de conseguir un patrocinador que nos mecanice el bastidor a un precio que no ponga en peligro la viabilidad del proyecto, por otro lado no se tiene las garantías por parte del patrocinador de que el resultado (en términos de tolerancia) ni el material escogido sea el seleccionado por el equipo. Además, con este tipo de chasis se obtiene una simulación en CAD más real, ya que la geometría es más simple, hay menos concentración de tensiones, puntos singulares y no interviene parámetros como la soldadura de una manera tan acusada como en los tubulares.

En contrapartida los medios de los que se disponen permiten obtener un tubo de soldadura artesanal por corte laser, además de tener el patrocinio de Reynolds y Sanmetal para los tubos del chasis. Por último, se mandará a soldar el bastidor a un especialista.



La elección de un chasis tubular nos dará más libertad a la hora de diseñar, se podrá optar a hacer un chasis alternativo y luchar por el premio a la innovación tecnológica.

Como ya se indicó anteriormente, el chasis auto-portante y el doble cuna abierta son los más livianos, por lo que nos dará opción a ganar la carrera y las pruebas de aceleración y frenada.

Por tanto, a pesar de una mayor dificultad, se asumirá el reto de crear un chasis tubular que se comporte como un doble viga y pueda competir en todas las categorías con la opción de ganar.

5.7 Solución propuesta a los resultados

La solución que se propone por tanto, es crear un chasis tubular. Según los resultados se tienen 2 opciones:

- **Auto-portante**

El objetivo para este chasis será conseguir explotar su mayor virtud, que es la rigidez que posee al estar unido al motor. Son chasis minimalistas, se tratara de crear en aluminio pero debido a su pequeño tamaño, la diferencia de peso si se hace en acero no será tan acusada como en el doble cuna abierta.

Además se tratará de buscar la estética de este particular tipo de chasis y su atractivo visual debido a estar relacionado con la exclusividad de marcas como Ducati, Britten V1000 *ilustración 51*, o la R1200 GS de BMW *ilustración 52*.



Ilustración 51: Motocicleta fabricada por John Britten1995 (<http://www.britten.co.nz/> [19])



Ilustración 52: Chasis BMW R1200GS

- **Chasis tubular doble cuna abierta**

El objetivo es diseñar un chasis que otorgue las mismas sensaciones dinámicas que un doble viga. Para ello se tratará de simular su comportamiento en MEF con el software Pro Engineer y comprobar que se comporta lo más parejo a un chasis doble viga en términos de deformación. La innovación y el desafío será tratar de conseguir reducir la tensión hasta valores que me permitan garantizar una seguridad estructural con el aluminio 7075 como material. En la *ilustración 53* se muestra el chasis doble cuna de competición de KTM y que nos servirá de referencia como ya se comentó anteriormente.



Ilustración 53: KTM Fabrice Moto 3 2013 (www.blog.derestricted.com [16])



5.8 Análisis para el estudio del bastidor con el Método de Elementos Finitos (MEF)

5.8.1 Definición

El Método de Elementos Finitos (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles. Permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de solucionar por métodos matemáticos tradicionales.

A pesar de ello su mayor virtud se estima en la reducción en el tiempo de cálculo y en el ahorro económico que supone poder simular cualquier objeto antes de ser fabricado.

Antes del desarrollo de este tipo de software se estaba obligado a realizar un mayor número de prototipos que testearan la valía del diseño, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo.

El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método de simulación aproximado debido a sus hipótesis básicas. Los prototipos por lo tanto, siguen siendo necesarios, porque hasta el momento no hay nada que supere las pruebas reales. Lo que se consigue con la simulación es que el primer prototipo construido este más depurado y cercano al diseño final.

La idea general del método de elementos finitos es la división de un objeto continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos.

Las ecuaciones que rigen el comportamiento del objeto regirán también el de los pequeños elementos que lo componen. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

En cualquier sistema a analizar se puede distinguir entre:

- Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.



- Condiciones de contorno. Variables conocidas y que condicionan el cálculo del sistema: cargas, restricciones, temperaturas, voltaje...etc.
- Incógnitas. Variables del sistema que se desean conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas, etc.

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

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

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

5.8.2 Justificación de las condiciones de contorno para el estudio MEF

Para el análisis del bastidor de la motocicleta, como comente en puntos anteriores se realizara con el módulo de Mecanica que integra el software Pro Engineer.

Para el estudio se someterá a los chasis a la misma sollicitación de cargas y restricciones, así podré comparar bajo las mismas condiciones, que bastidor se comporta mejor.

El estudio tratará de simular las condiciones a las que la motocicleta se verá sometida en el circuito. Estas son prácticamente infinitas asique se centrará en las que mayor esfuerzos provocan en él, que son la frenada y el paso por curva. Para reducir el número de simulaciones, realizaré un análisis que englobe ambos esfuerzos.

Explicado de una manera más coloquial, el estudio se centrará en el momento en que la moto comienza a tomar la curva, en ese preciso momento el piloto todavía se encuentra frenando con la motocicleta inclinada.

Se puede observar de una manera visual en la *ilustración 54*.



Ilustración 54: Aleix Espargaro. Sepang 2013. (www.motogp.com/es [11])

5.8.3 Condiciones de contorno

Las cargas

Las cargas simultáneas a las que someteré al chasis como explique en el punto “5.3 conceptos básicos” serán 3 (solicitud mixta).

Primero las dos cargas que se provocan al frenar. Cuando se acciona la leva del freno delantero el reparto de peso ira a la parte delantera de la moto, quedando según la fuerza de frenada la rueda trasera en el aire, *ilustración55*.



Ilustración 55: Álvaro Bautista frenada límite. Sepang 2013. (www.motogp.com/es [11])

Esto provoca que el peso del conjunto recaiga integro sobre la rueda delantera, y que se transmita a través de la horquilla de la suspensión hasta el chasis. Esta fuerza originada es la reacción normal “N” y se produce en el punto de contacto entre el suelo y el neumático.

$$N = (m_{moto} + m_{piloto}) \times g$$

Siendo:

N: fuerza normal (N).

m_{moto} : masa de la motocicleta (Kg).

m_{piloto} : masa del piloto (Kg).

g: fuerza gravitatoria $9,8 \text{ m} / \text{s}^2$.



La otra carga que se origina en la frenada tiene la dirección de la marcha de la moto, pero con sentido contrario y hace que la moto se detenga. Es necesario entender que para que la moto disminuya su velocidad tiene que originarse una fuerza que se oponga al movimiento, esta es la fuerza de rozamiento F_r y que se origina en el punto de contacto entre la rueda y el asfalto.

Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$F_r = \mu \times N$$

Siendo:

F_r : fuerza de rozamiento (N).

μ : coeficiente de rozamiento.

N: Reacción o fuerza normal (N).

El coeficiente de rozamiento entre el asfalto del circuito y el neumático se estima en 1,2.

Por último, la tercera carga es la originada cuando la moto esta inclinada para comenzar a trazar la curva. Se recuerda que la moto se encuentra frenando por lo que el reparto de peso esta adelantado y recae sobre la rueda delantera como en la *ilustración 55*.

Esta inclinación origina una reacción, perpendicular a la zona de contacto del neumático con el asfalto. En función del ángulo de inclinación la fuerza tendrá una dirección más o menos perpendicular a la horquilla de la suspensión delantera. En este caso, se simulara un caso extremo e hipotético en el que la reacción es perpendicular a la dirección de marcha, es decir, la moto esta paralela al suelo.

$$F_l = (m_{moto} + m_{piloto}) \times g$$

F_l : fuerza lateral (N).

m_{moto} : masa de la motocicleta (Kg).

m_{piloto} : masa del piloto (Kg).

g: fuerza gravitatoria $9,8 \text{ m} / \text{s}^2$.

La evolución de los neumáticos de competición cada vez permiten que los pilotos puedan inclinar más sus monturas, es evidente que no llegaran a ir paralelos al suelo, es una simplificación de cálculo, pero sí que lleguen a ángulos de inclinación superiores a los 65° como se muestra en la *ilustración 56*.



Ilustración 56: Marc Márquez en el vértice de la curva. Sepang 2013. (www.motogp.com/es [11])

Para todos estos cálculos realizo una estimación de la masa del futuro conjunto que se diseñara:

- m_{moto} se estima en 95 Kg.
- m_{piloto} se estima en 70 Kg.

A esta masa total le aplico un coeficiente de seguridad del 20%.

Por tanto:

$$m_{total} = (m_{moto} + m_{piloto}) \times 1.2$$

$$m_{total} = 198Kg \approx 200Kg$$

De esta manera, quedan estipuladas las cargas en:

$$N = 2000 \text{ N}$$

$$F_r = 2400 \text{ N}$$

$$F_l = 2000 \text{ N}$$

Para simplificar los cálculos se ha redondeado la fuerza de la gravedad a 10 N/Kg.

En la *ilustración 57* se aprecia la aplicación de las cargas en el entorno de Pro Engineer.

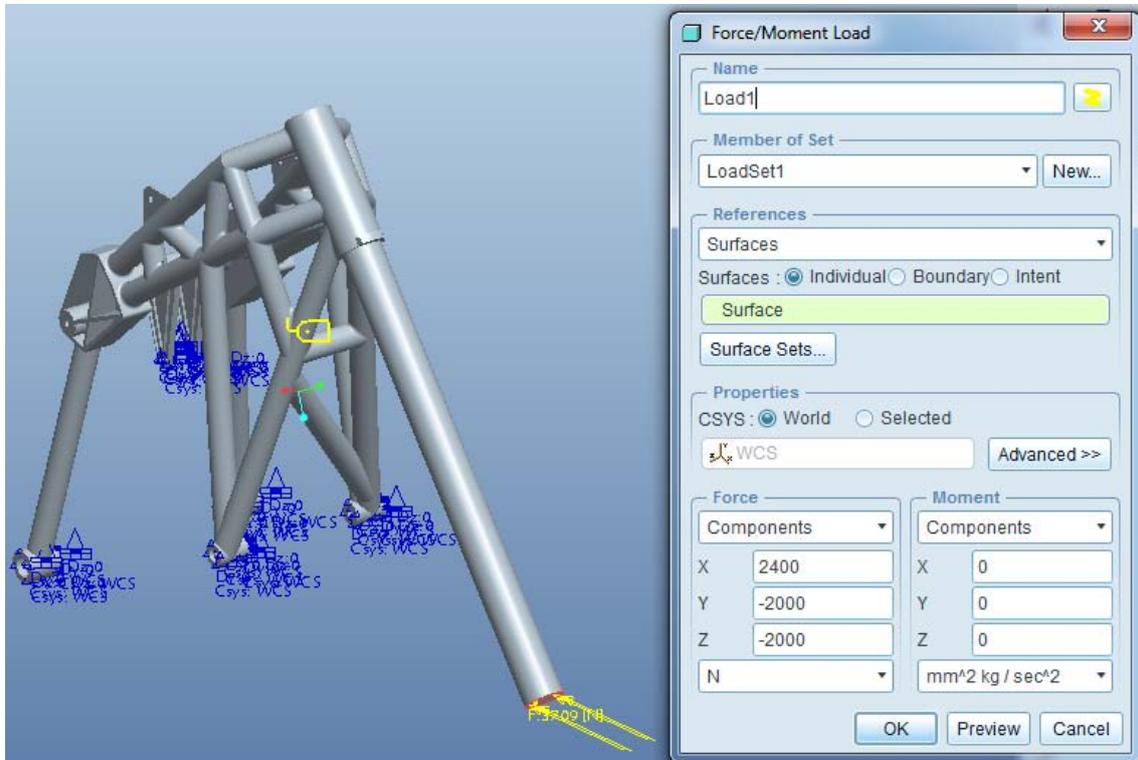


Ilustración 57: Solicitación de cargas aplicadas en el chasis.

Restricciones de movimiento

Para llevar a cabo la simulación se colocan restricciones en los puntos de unión entre el chasis y los puntos de interface donde va colocado, estos son: la placa que rodea el motor en su parte delantera, el anclaje superior del motor y el eje que lo une al basculante.

Habrán dos tipos de restricciones:

En los puntos de contacto de los casquillos de sujeciones con los ejes será una restricción tipo Pin, es decir, permite la rotación en torno al eje al que va sujeto, pero restringe la translación en la coordenada X y Z, *ilustración 58*.

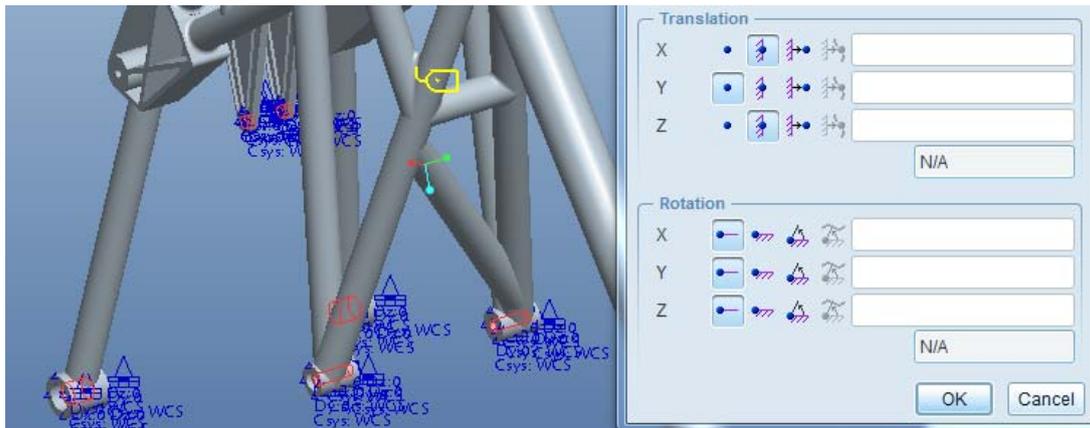


Ilustración 58: Restricciones transnacional (Eje X y Eje Z) aplicadas en el chasis

En la zona plana de los casquillos será también una restricción tipo Pin, permite el giro en todas las coordenadas, pero restringe la translación en el eje Y para que no se desplace el chasis lateralmente, *ilustración 59*.

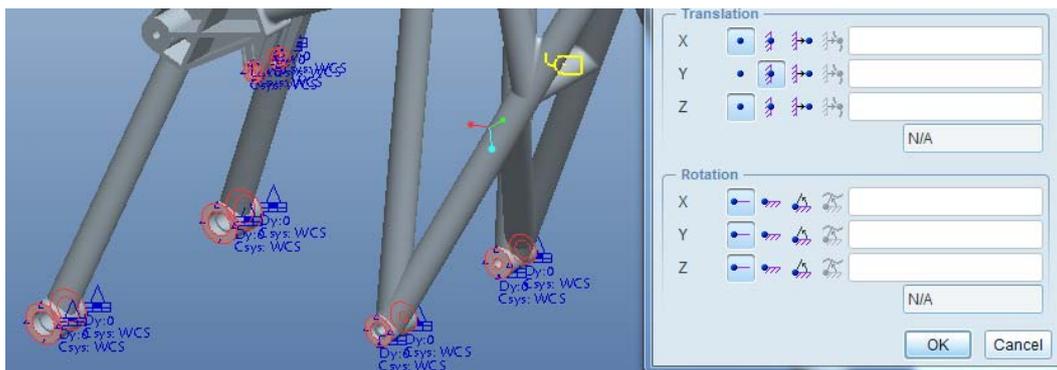


Ilustración 59: Restricciones laterales (Eje Y) aplicadas en el chasis

Material

El programa exige que se le asigne un material, se duda en un principio entre aluminio y acero. Se Comenzará a utilizar el aluminio 2024 (más desfavorable en cuanto a deformaciones que el acero, pero parejo al aluminio 7075 que se desea utilizar) que integra el software como predeterminado. Si la tensión máxima está por debajo del límite elástico del material, se mantendrá esta elección, si por el contrario no se puede asegurar una seguridad estructural, se pasará a un acero con mayor límite elástico.

Datos del material para la fabricación del chasis:

Aleación de Aluminio - Zinc

AL-7075

PRODUCTOS: BARRAS, PERFILES EXTRUIDOS, TUBOS, CHAPAS, PLANCHAS.

Composición química:
 Consultar tabla de composiciones químicas (páginas 16 y 17)

Propiedades mecánicas típicas (a temperatura ambiente de 20°C)

Estado	Características a la tracción			Limite a la fatiga N/mm ²	Resistencia a la cizalladura N/mm ²	Dureza Brinell (HB)
	Carga de rotura Rm. N/mm ²	Limite elástico Rp 0,2. N/mm ²	Alargamiento A 5,65 %			
0		225	105	-	230	60
T6	6 - 12	530	450	8	300	140
T6	12 - 25	530	450	5	300	140
T6	26 - 50	530	450	3	300	140
T6	51 - 63	500	430	2	300	130
T6	63 - 75	480	410	2	300	130
T6	75 - 100	480	390	2	300	130
T7351		505	435	13	300	140

Características mecánicas de la aleación a diferentes temperaturas

Estado	-195°C			-80°C			-30°C			+25°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65
T6	705	635	9	620	545	11	595	515	11	570	505	11	485	450	14
T7351	635	495	14	545	460	14	525	450	13	505	435	13	435	400	15

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65	Rm	Rp 0,2	A 5, 65
T6	215	185	30	110	90	55	75	60	65	55	45	70	41	32	70
T7351	215	185	30	110	90	55	75	60	65	55	45	70	41	32	70

Rm N / mm; Rp N / mm; A 5,6 5%

Ilustración 60: Tabla de propiedades mecánicas AL-7075 (www.sanmetal.es [25])

En la *ilustración 61* que facilita el proveedor, se ve que el alargamiento es igual entre los aluminios 2024-7075, por lo que se puede estimar que las deformaciones sean iguales.

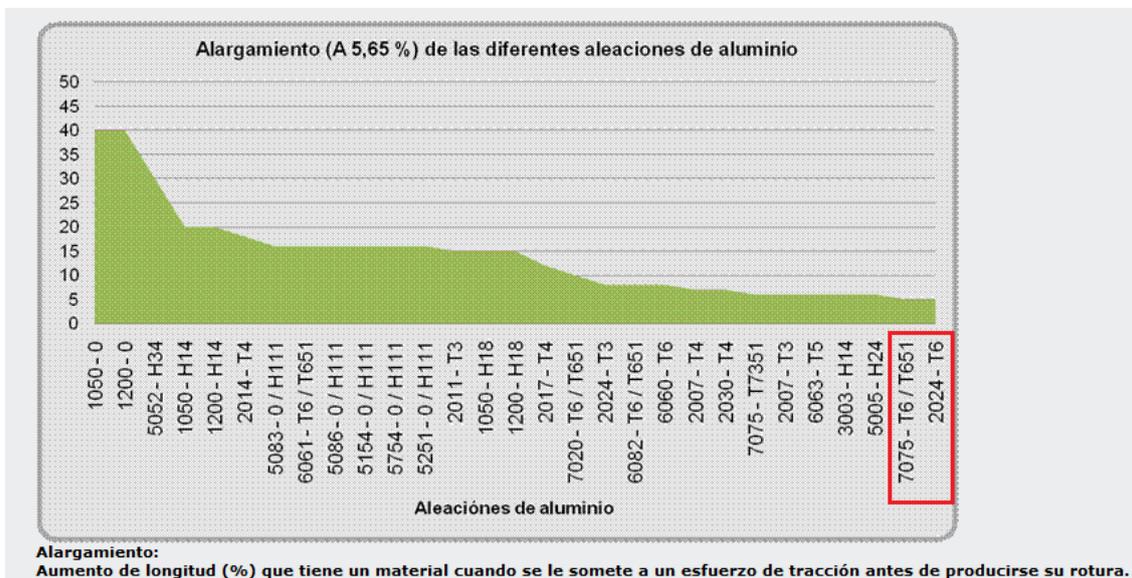


Ilustración 61: Tabla de alargamiento aleaciones aluminio (www.lumetalplastic.com [22])

Mallado

El mallado automático que nos propone el programa es el idóneo para trabajar por su eficacia apreciable en los modelos analizados y por el tiempo que nos reduce no tener que ir mallando zonas sensibles una por una en cada geometría propuesta, aun así en el último modelo se realizó un mallado más detallado en la zona de máximos y no se apreciaron datos diferentes al mallado automático, *ilustración 62* y *63*.

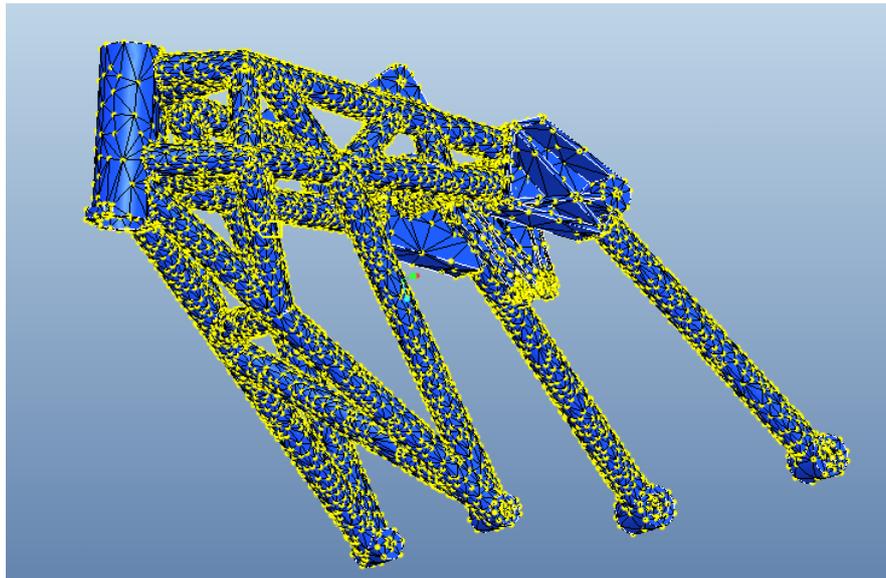


Ilustración 62: Mayado automático.

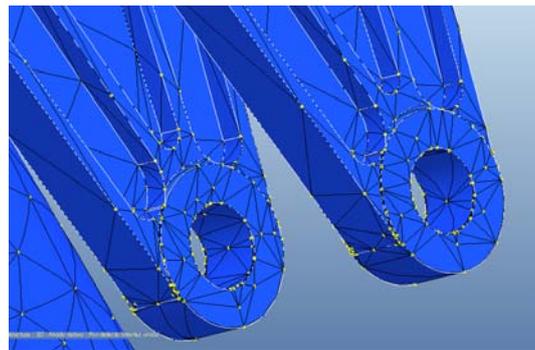


Ilustración 63: Vista en detalle del mayado en zona sensible.





6. DISEÑO DEL BASTIDOR

6.1 Fases del diseño

6.1.1 Introducción

Las funciones principales de un chasis de motocicleta son principalmente dos: estáticas y dinámicas. Desde el punto de vista estático el chasis debe de ser capaz de soportar el peso del piloto, del motor, la transmisión y todos los accesorios necesarios para el correcto funcionamiento, como pueden ser los depósitos de aceite y gasolina. La otra función es la que se refiere a la dinámica de la moto, el chasis junto a otros elementos como horquilla y ruedas son los encargados de proporcionar una buena adherencia, manejabilidad y confort.

Para que la motocicleta sea capaz de seguir la dirección deseada, el chasis debe ser capaz de proporcionar una buena resistencia a la torsión pues debe conseguir mantener las ruedas en el mismo plano y que no se modifiquen los parámetros geométricos impuestos, ante las fuerzas a las que será sometido debido a los baches, la propia transmisión, las frenadas y las curvas.

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

6.1.2 Diseño 2D

Para empezar a trabajar en el diseño de la motocicleta, como se comentó en puntos anteriores se hizo un trabajo de investigación sobre el resto de motocicletas. Al ser las Moto3 una categoría nueva implantada para la temporada 2011-2012, al principio no se tenía una base de partida, pero pronto empezaron a salir los modelos de las grandes fabricas para esta competición.

Al no disponer de una motocicleta sobre la que empezar a cotejar datos, decidí partir de una 2D que nos garantizara una buena base de partida en términos dinámicos, de posición de pilotaje, ángulos y distancias características. Por tanto, a

través de los datos públicos suministrados por Honda y con una foto lateral de la HRC NSF 250R de Moto3 se empezó a sacar las medidas características para poder adaptarlo a nuestras especificaciones, "reingeniería".

6.2.1 Dimensiones 2D Honda Moto3



Ilustración 64: HRC NSF 250R Moto3 2012

Los parámetros geométricos que se observan en la NSF 250R serán los que definen el comportamiento de la motocicleta.

Estos son los datos suministrados por Honda HRC:

Honda NSF250R (Características técnicas) [18]

- Nombre del modelo: NSF250R
- Tipo del modelo: MR03
- Chasis: aluminio doble viga
- Largo total x ancho total x alto total: 1,809×0,560×1,037 m
- Distancia entre ejes: 1,219 m
- Distancia libre al suelo: 0,107 m
- Altura del asiento: 0.729 m
- Ángulo de horquilla: 22°36"
- Peso en vacío: 84 kg

6.2.1.1 Parámetros geométricos

El resto de medidas que definen el comportamiento de la moto viene determinado en la *ilustración 65*:

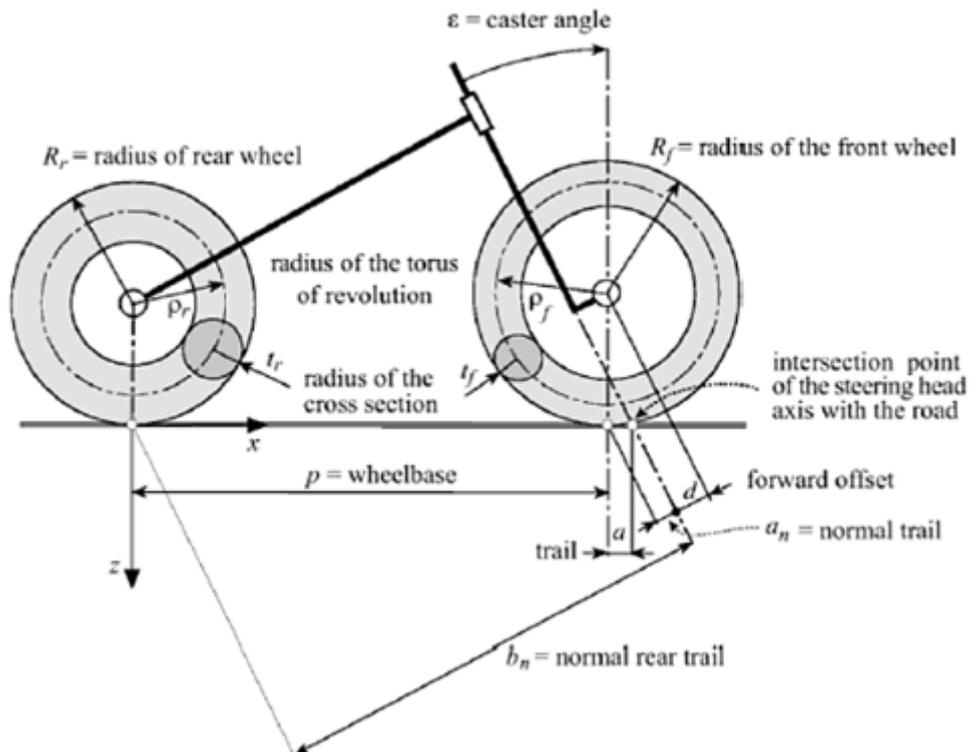


Ilustración 65: Medidas características que definen el comportamiento de una moto. (Tony Foale: “Motorcycle handling and chassis design: the art and science”. [1])

Escalándolo la fotografía con los datos suministrados por Honda, se obtendrá el resto de medidas de interes, *ilustración 66*:

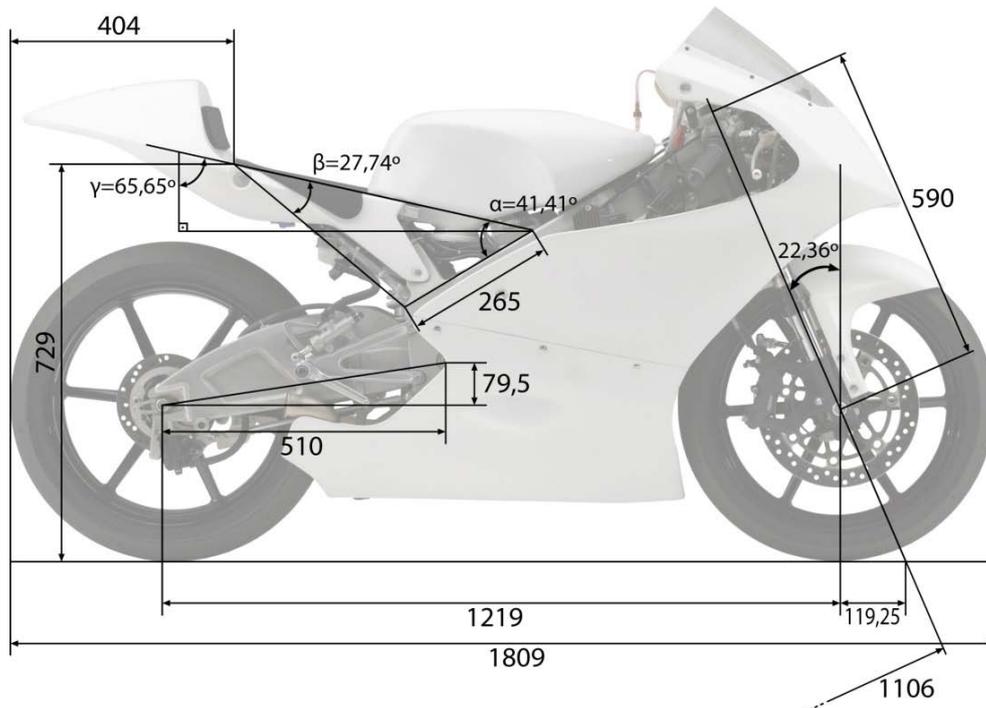


Ilustración 66: 2D Honda HRC NSF 250 R

Con este 2D de la NSF 250R se obtienen unos datos muy valiosos para el inicio de los primeros diseños. Los parámetros que componen la Moto 3 de Honda serían aproximadamente:

Parámetros Geométricos	Dist. (mm)
Trail delantero	119,25
Trail trasero	1106
Long. basculante	510
Long. Horquilla	590

Ilustración 67: Tabla de parámetros geométricos 1

Parámetros Geométricos	Ángulo
Ang. Basculante	8.86°

Ilustración 68: Tabla de parámetros geométricos 2

También se obtienen otros datos que servirán de gran ayuda como la posición del piloto, la triangulación para el sub-chasis y su ángulo de colocación.

Esto fue un problema que se encontró casi al final del proyecto, ya que no se cotejó el desplazamiento de la rueda cuando se hunde la horquilla delantera.

Una vez se contó con este parámetro, mediante el Teorema de Tales se obtuvo la mejor relación entre la distancia entre ejes y el espacio entre rueda-radiador.

Se pueden observar las diferentes configuraciones posibles en la *ilustración 70*:

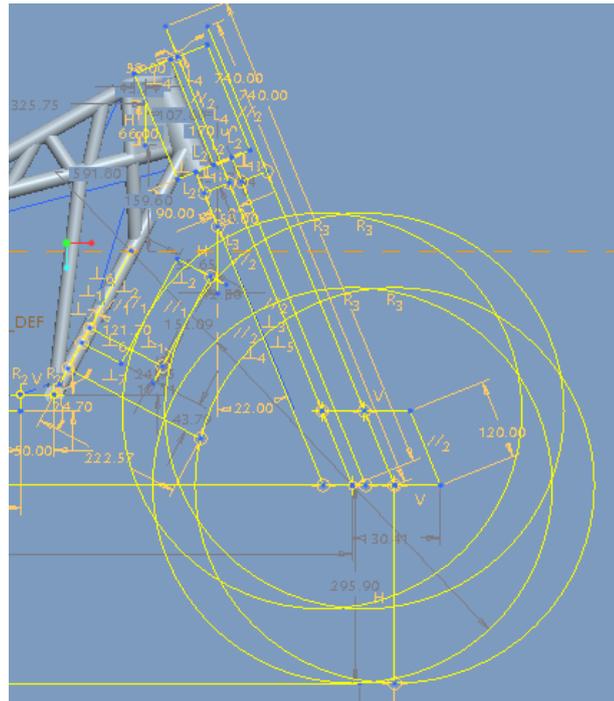


Ilustración 70: Relación entre la posición de la pipa y longitud entre ejes

Después de tener en cuenta el movimiento de la rueda, se creó el 2D definitivo, que se puede observar en la *ilustración 71*.

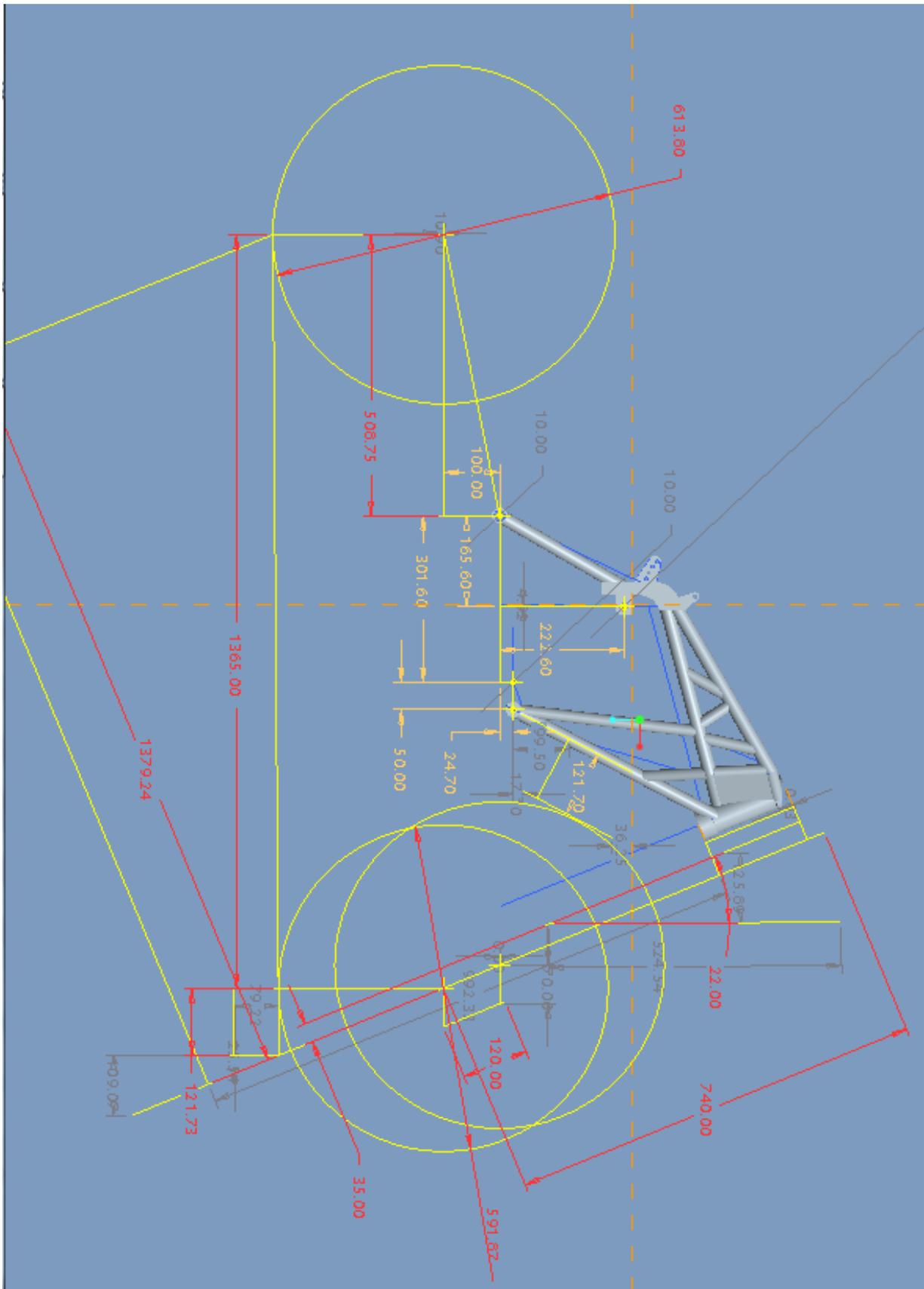


Ilustración 71: 2D definitivo MS2

6.2.2.1 Parámetros geométricos

Los parámetros quedaron fijados de la manera que reflejan las *ilustraciones 72* y *73*:

Parámetros Geométricos	Dist. (mm)
Distancia entre ejes	1365
Avance normal (offset)	35
Trail delantero	121.73
Trail trasero	1379.24
Radio del neumático delantero	295.9
Longitud del basculante	508.75
Radio del neumático trasero	306.9

Ilustración 72: Tabla de parámetros geométricos 1

Parámetros Geométricos	Ángulo
Ángulo de lanzamiento	22°
Angulo del basculante	11.33°
Angulo de giro requerido	20°

Ilustración 73: Tabla de parámetros geométricos 2

6.3 Puntos de interface con el motor

Para entender correctamente la forma de estos chasis, antes recordare los puntos de anclaje del motor que suministra la organización, *ilustración 74*:

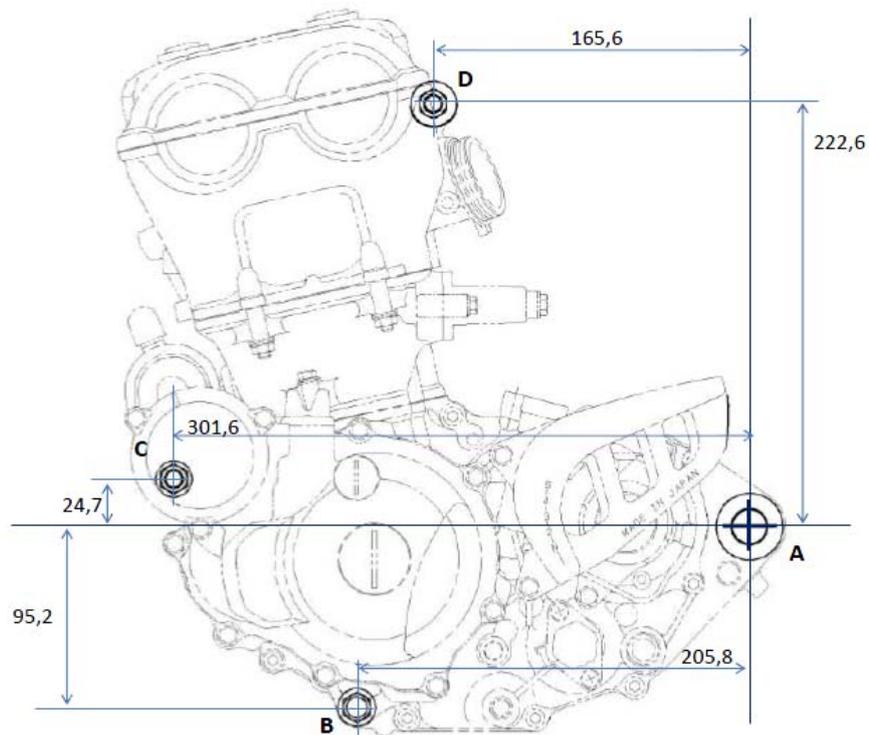


Ilustración 74: Perfil del motor Yamaha Yz 4T



Ilustración 75: Planta del motor Yamaha Yz 4T

6.4 Diseños preliminares

Como se mencionó en el punto 5.7 *Solución propuesta a los resultados*, tras el estudio de nuestras necesidades y de los medios de los que se disponen, se comienza a desarrollar los primeros prototipos, estos son el chasis auto-portante y el doble cuna abierto, ambos en su versión tubular.

6.4.1 Diseños chasis auto-portante

Cabe recordar que el chasis auto-portante, utiliza el motor como parte estructural, por tanto su relación rigidez/peso es muy buena, el motor que nos proporciona la organización no está preparado para ser parte estructural, fuera de desestimarse, se tratará de reducir al máximo las tensiones sobre el motor, antes de eliminar esta opción.

Para este diseño se buscara obtener un chasis muy reducido en tamaño y que nos ofrezca una gran rigidez, esto va acompañado por tanto de un peso muy bajo. A cambio de esta rigidez y pequeño chasis, se sacrificará el paso por curva de la moto ya que prácticamente la deformación será nula y a cambio se obtendrán unos buenos parámetros para las frenadas antes de curva y aceleración.

De una manera más visual se puede ver un ejemplo en la Ducati GP9, *ilustración 76*.

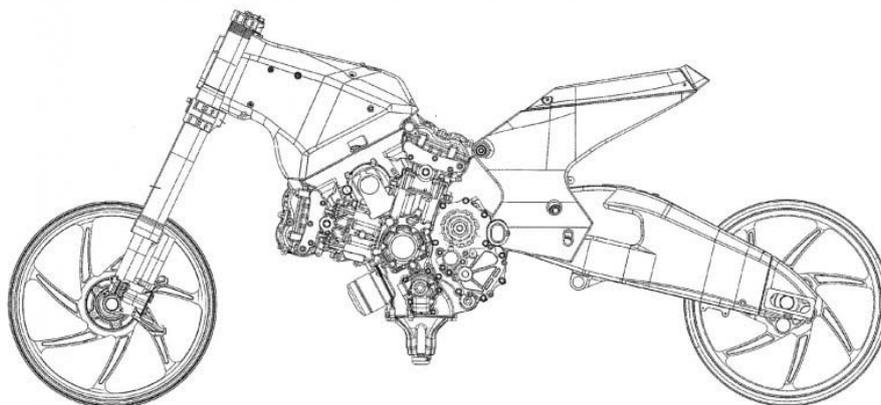


Ilustración 76: Perfil Ducati GP9

Como se comentó en puntos anteriores, la motocicleta es la unión de varios componentes que tienen que estar en armonía, por tanto están sujetos a muchos cambios mediante la etapa de diseño.

En los siguientes apartados se mostrará los distintos chasis con su evolución correspondiente:

6.4.1.1 Diseño M.A_TOP_1.0



Ilustración 77: Chasis M.A_TOP_1.0

Para acoplar el chasis auto-portante se utilizan los puntos C y D del motor. El sub-chasis ira acoplado en las sujeciones D y A.

En este primer diseño se buscó una solución a la dirección de los tubos para que encajara con el motor y resto de elementos. Servirá de guía para el resto de chasis. Todavía solo me preocupo por la geometría y la relación con el resto de elementos que componen la motocicleta.

6.4.1.2 Diseño M.A_TOP_2.0

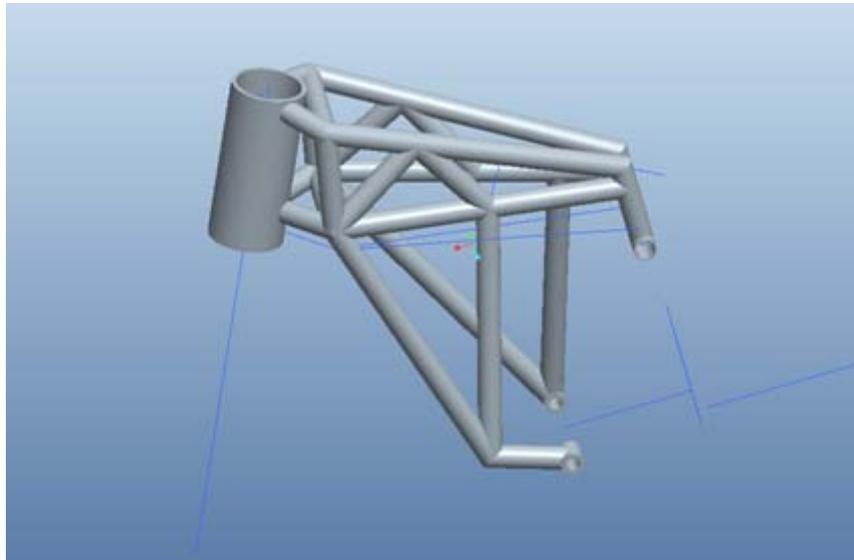


Ilustración 78: Chasis M.A_TOP_2.0

En este segundo diseño se comienza a buscar el potencial del chasis en términos de rigidez, tensiones máximas y desplazamientos.

Para reforzar el chasis se utilizan tubos de menor diámetro que la estructura principal del chasis, de esta manera se asegura que las soldaduras sean adecuadas. Los diámetros y espesores están condicionados por la oferta de nuestros suministradores Reynolds o Sanmetal.

Se refuerza la parte que va unida a la pipa de la dirección, que como explique en el punto 5.3. *Conceptos básicos para la creación del chasis de una motocicleta*, es la parte del chasis por donde se transfiere la carga al resto del bastidor.

También se triangula la parte longitudinal del chasis, para ello se tiene en cuenta dos conceptos importantes en la elaboración de un chasis:

- Para el estudio en FEM, el chasis se considera como una estructura articulada, los puntos de unión con el motor permiten el giro (spin) por muy pequeño que sea.
- Los vértices o puntos donde se unen dos barras se comportaran como nodos (no transfieren momento flector).

Por tanto, a la hora de triangular un chasis se debe evitar unir tubos que no se corten en los nodos (no siempre será posible), porque en el caso de soldar una barra a

lo largo de la trayectoria de otro tubo, se transmitirá la carga a través de la primera barra como si fuera una carga puntual. Al estar la barra (carga) en el vano (en este caso el segundo tubo) en vez de en el apoyo (vértice o nodo) crearía un momento flector con su respectiva deformación y posterior desplazamiento, este fenómeno origina más tensión en otros puntos del chasis, este concepto queda reflejado en la *ilustración 79*.

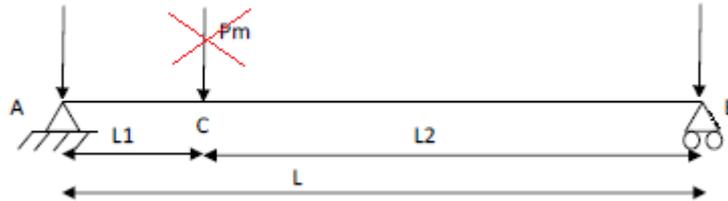


Ilustración 79: Posición correcta de unir los tubos, sin crear flectores adicionales

Es por esta teoría, que este chasis es descartado, se crea una tensión excesiva en el brazo izquierdo que va atornillado al motor por su punto C, *ilustración 80*.

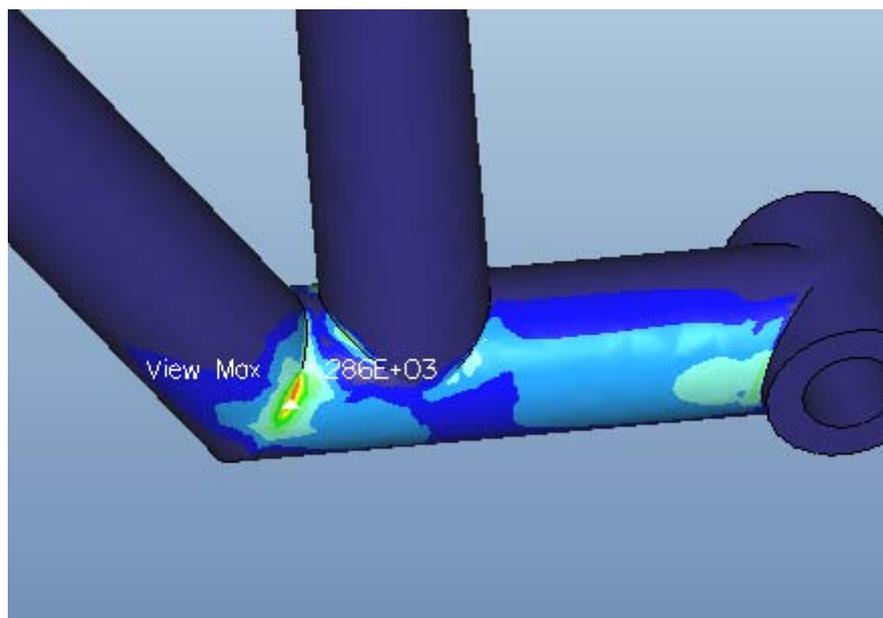


Ilustración 80: Vista en detalle análisis Von-Misses chasis M.A_TOP_2.0

Se podría pensar en reforzar esta parte con una escuadra, o un sistema similar pero hay problemas de espacio en esa parte del conjunto, ya que se encuentra el motor eléctrico de arranque. Por tanto, se procede a pensar una solución alternativa que consiste en dos placas paralelas de aluminio alrededor del motor, y que hagan de nexo entre el chasis y el motor.

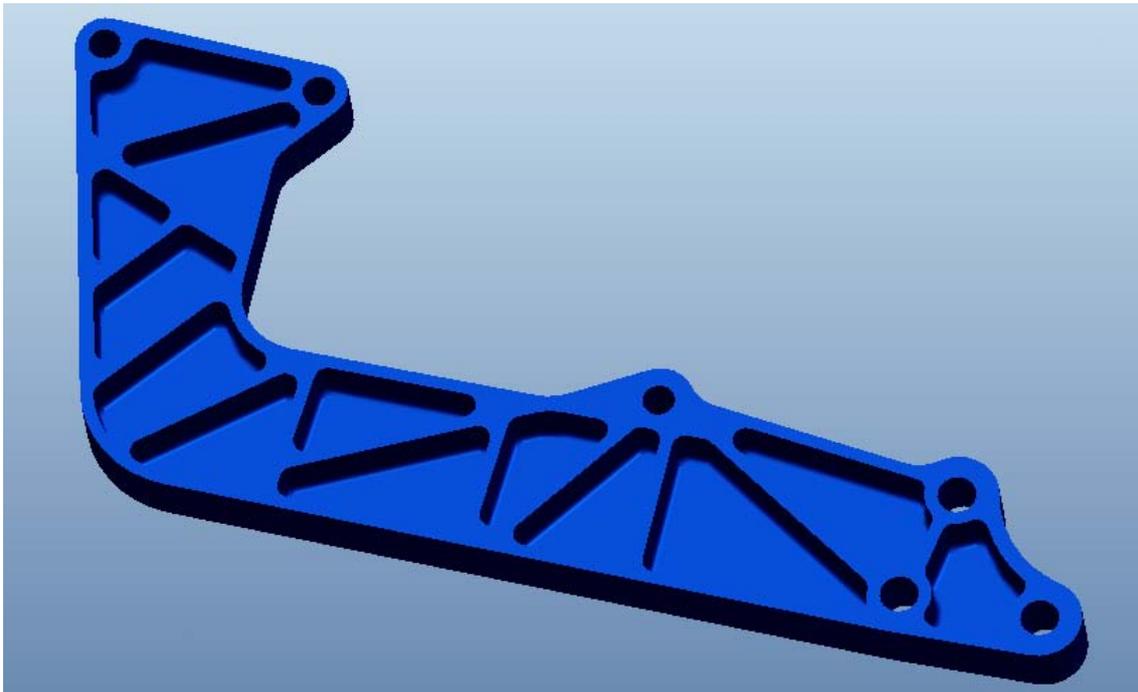


Ilustración 81: Placa unión chasis-motor

Así se consigue reducir las tensiones sobre el motor. También permite diseñar un chasis simétrico respecto al eje de inclinación o eje de dirección de marcha, lo que facilita mucho la comprensión de cómo afectan las cargas externas a las que se somete al chasis.

En contraposición se pierde espacio para el radiador ya que se adelanto 50mm en horizontal el punto de interface del motor. Esto como se explicó en el apartado del 2D me obligara a hacer el chasis más largo para garantizar que la rueda no golpee el radiador cuando se comprima la suspensión.

Ahora el anclaje del motor C será remplazado por el orificio de la placa diseñada como se observa en la *ilustración 81*.

El análisis de elementos finitos de las placas será analizado en el apartado 7, destinado al cálculo de elementos auxiliares.

Los análisis de deformación en el chasis 2.0 son bastante positivos para una primera versión, por lo que se continuará con la misma idea geométrica de chasis y comenzará a reducir los puntos singulares de tensión.

Por tanto, una vez adelantado los puntos de interface del chasis con la placa, queda cerrada la geometría básica del chasis. Esta geometría queda ya reflejada en el chasis 3.0.

6.4.1.3 Diseño M.A_TOP_3.0

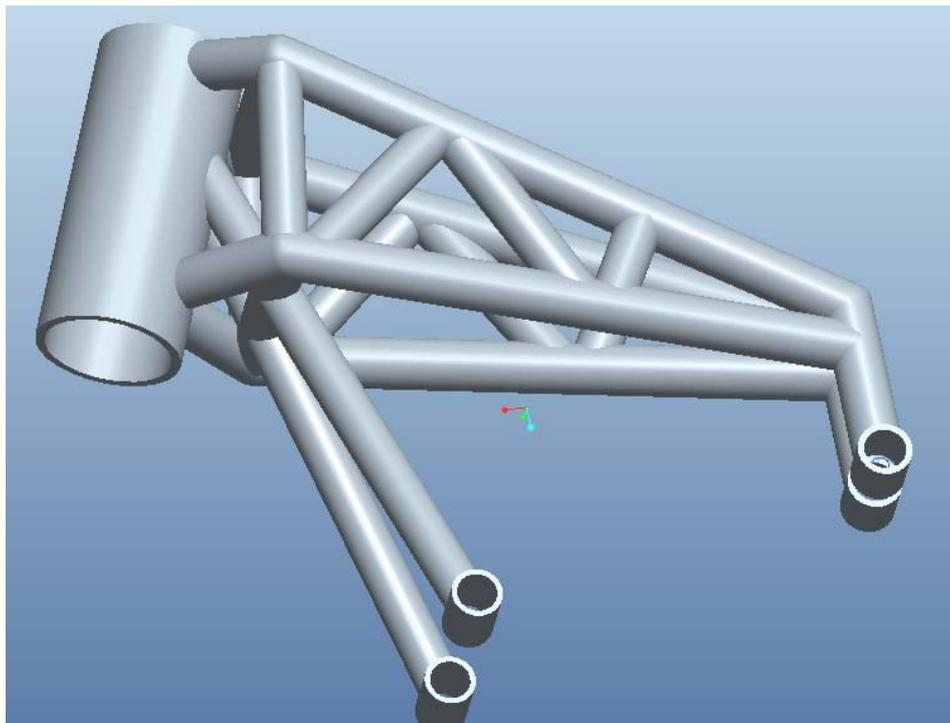


Ilustración 82: Chasis M.A_TOP_3.0

Esta opción es el origen de los futuros diseños, pero queda descartada al igual que el Chasis M.A_TOP_2.0 porque las barras no se cortan en los nodos.

Ahora que se tiene una idea clara de la geometría del chasis, y con los resultados obtenidos en el módulo de elementos finitos, se mejorarán los puntos débiles del chasis y a tratar de mantener sus puntos fuertes.

Métodos de trabajo

El método de trabajo será ir introduciendo cambios en la geometría y comprobar en el módulo de mecánica a partir de la versión M_TOP_4.0, si los cambios mejoran las prestaciones del conjunto.

Para ello se irán diseñando una serie de evoluciones que se acoplarán a este chasis y que posteriormente se analizan para ir viendo lo que aporta cada diseño, con la idea de llegar a un chasis final con la mejor característica de cada uno.

Para facilitar el estudio del chasis y su comportamiento, se divide en dos partes, por un lado la parte superior, *ilustración 83* y por otro, los tubos que lo unen a los puntos fijos de interface, *ilustración 86*.

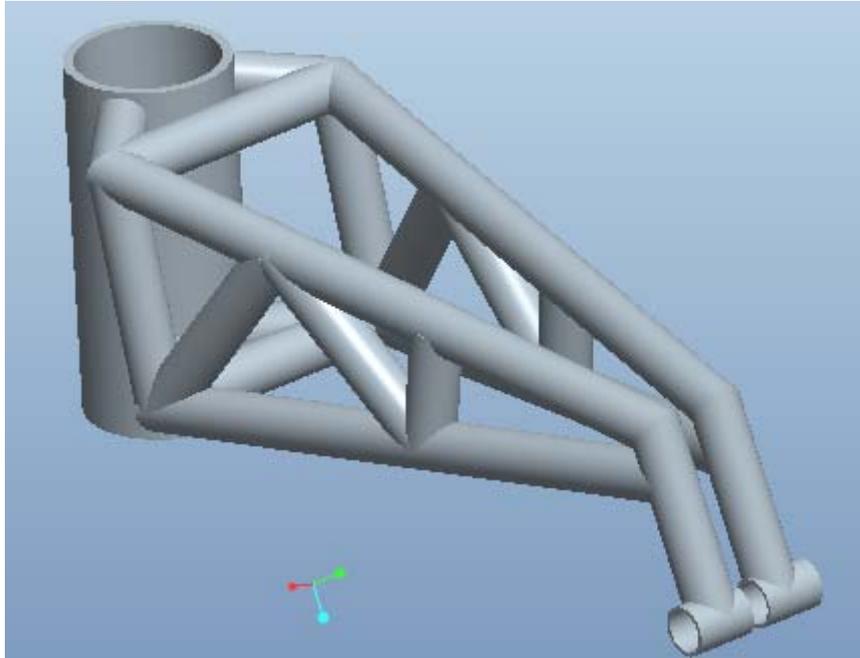


Ilustración 83: Parte superior del origen del chasis auto-portante

Es la parte más rígida del chasis, se mueve y deforma al unisonó, esto nos hace tener una flexión longitudinal muy controlada que se podrá modificar en función de la posición de las barras de refuerzo o de su diámetro y espesor, *ilustración 84*.

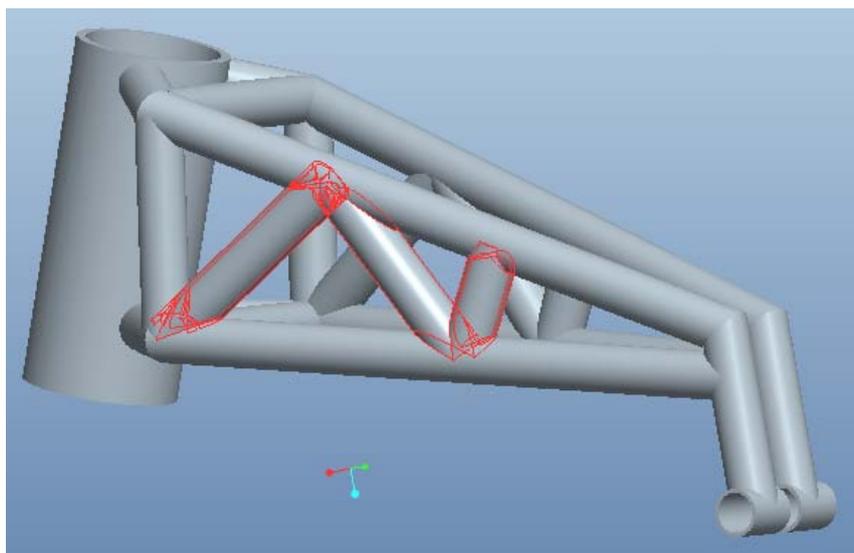


Ilustración 84: Parte superior del origen del chasis, remarcando barras de refuerzo.

Como punto débil se encuentra su resistencia a torsión, es decir, se produce un cabeceo en la pipa de dirección que desalinea la rueda delantera de la trasera. Por tanto, será el problema a solucionar en siguientes modelos.

Este fenómeno se puede ver gráficamente en la *ilustración85*.

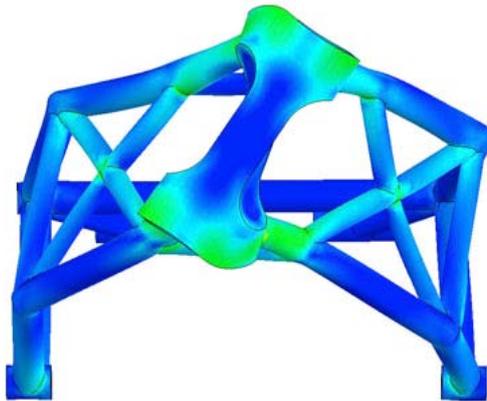


Ilustración 85: Movimiento lateral de la tija o “cabeceo” (www.bottpower.com [12])

La segunda parte del chasis queda definida como la unión entre los puntos de interface (placa lateral del motor) y la parte superior del chasis. Será la composición de las barras la que otorgue un comportamiento u otro al conjunto en función de la rigidez que se quiera dar al sistema, como se comentó habrá que buscar un punto medio entre torsión y flexibilidad lateral.

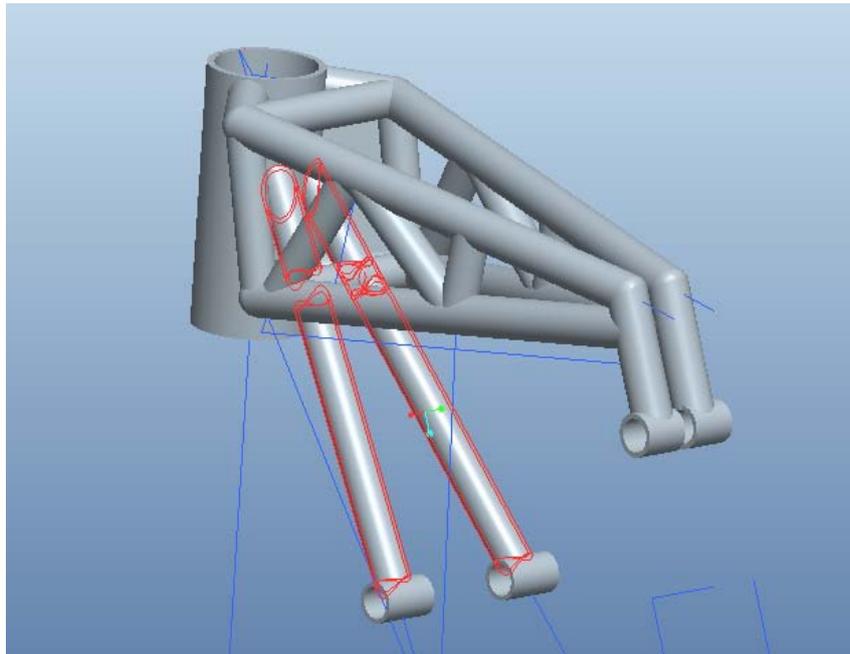


Ilustración 86: Parte inferior del origen del chasis (en color rojo)

El objetivo marcado será reducir el desplazamiento que provoca en el chasis el movimiento de la pipa de dirección. Esto ya se empieza a desarrollar en el chasis M_TOP_4.0.

6.4.1.4 Diseño M.A_TOP_4.0

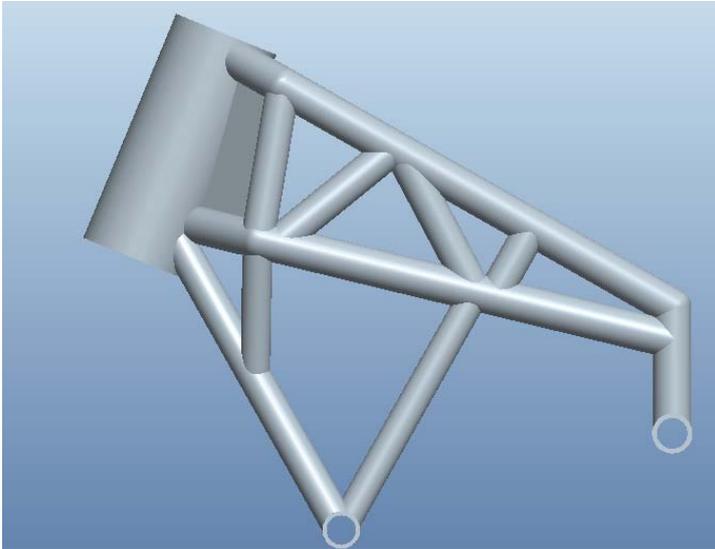


Ilustración 88: Chasis M.A_TOP_4.0 vista lateral

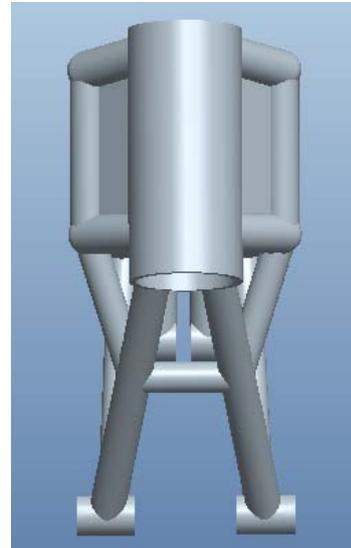


Ilustración 87: Chasis
M.A_TOP_4.0 vista frontal

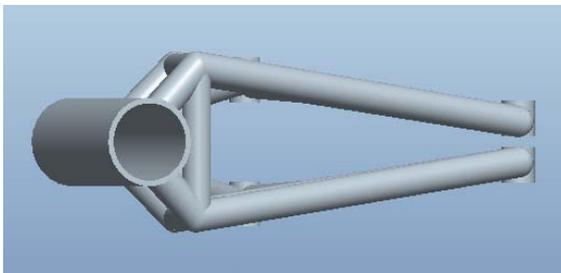


Ilustración 90: Chasis M.A_TOP_4.0 vista en
planta

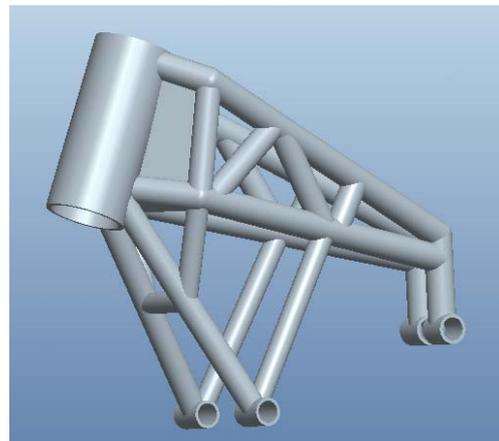


Ilustración 89: Chasis M.A_TOP_4.0

Esta versión 4.0 ya ha sufrido un cambio respecto a la versión anterior. Se imita un mecanizado que arropa toda la tija como en un chasis doble viga, soldando unas placas laterales alrededor de los tubos que van soldados a la pipa de dirección. De esta forma se consigue reforzar la zona delantera y que los tubos unidos a la pipa de dirección trabajen de manera conjunta.

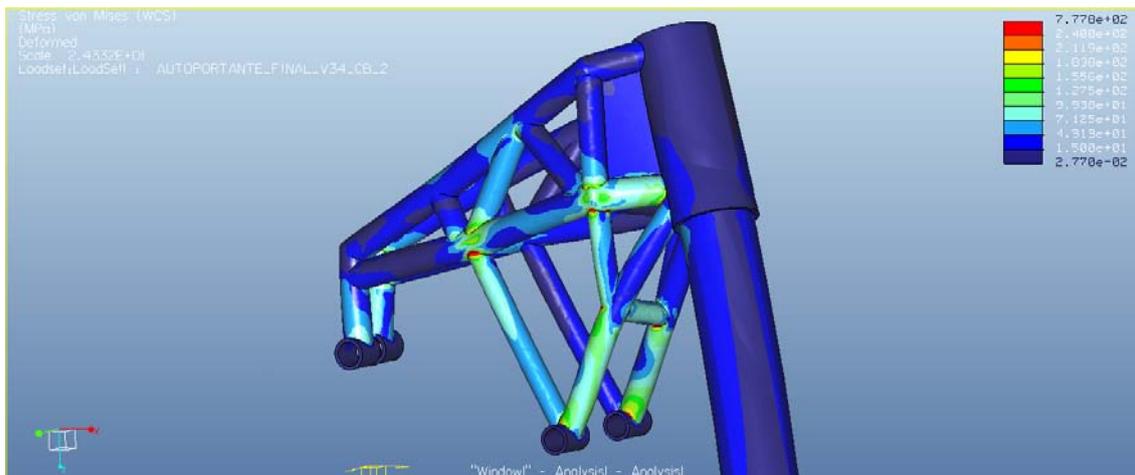


Ilustración 91: Von Mises Chasis M.A_TOP_4.0

La tensión se reparte por todo el chasis, es decir que trabajan todos los tubos cuando se le somete a una fuerza externa. Más adelante se modificará la disposición de los tubos con la intención de mejorar su comportamiento, y que trabajen mejor (absorban más energía).

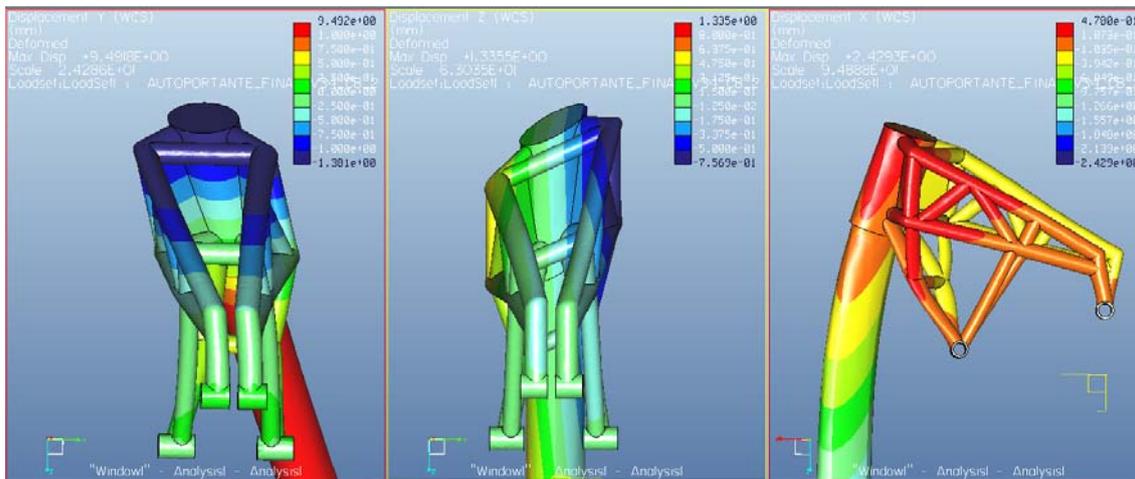


Ilustración 92: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_4.0

Con este nuevo diseño se reducen las deformaciones máximas, las placas laterales consiguen que haya un movimiento homogéneo, es decir aplicando una carga mixta (frontal, vertical y lateral), se consigue que las deformaciones sean simétricas respecto a sus ejes de simetría.

6.3.1.5 Diseño M.A_TOP_5.0

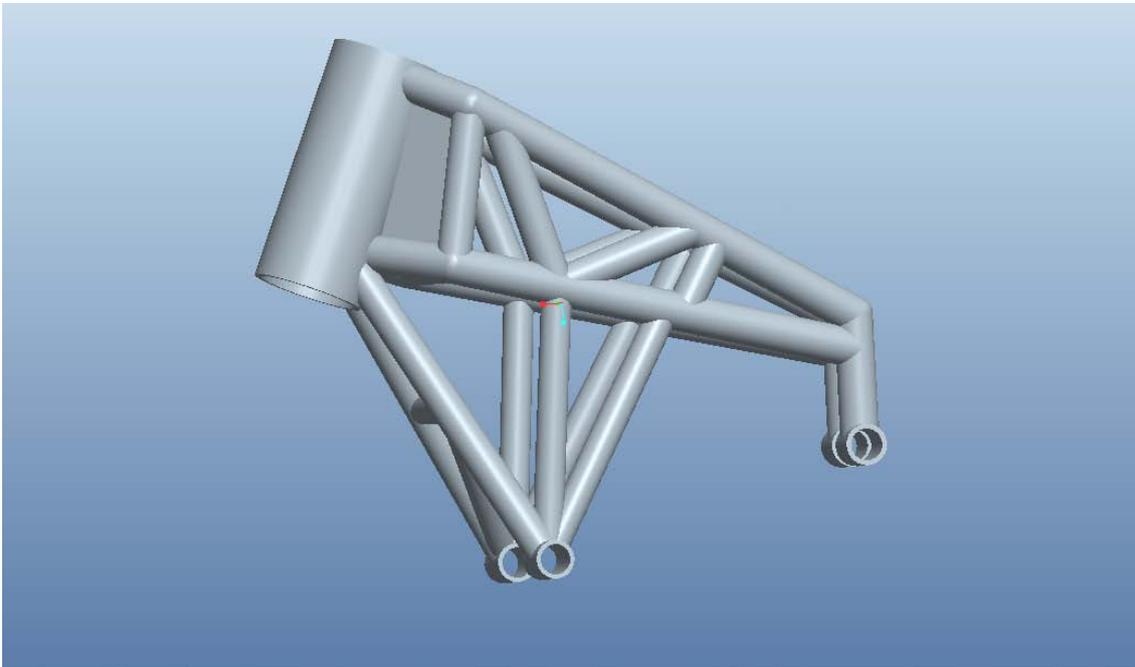


Ilustración 93: Chasis M.A_TOP_5.0

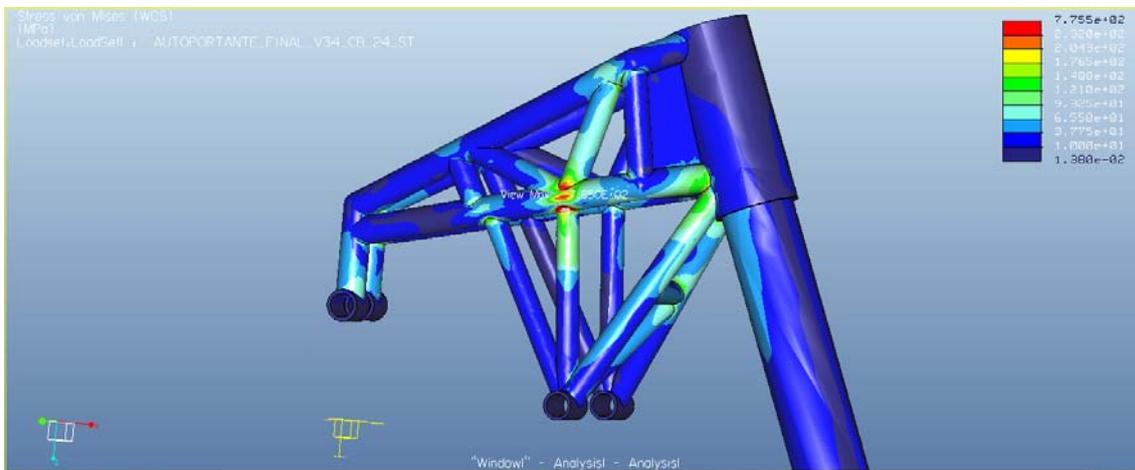


Ilustración 94: Von Mises Chasis M.A_TOP_5.0

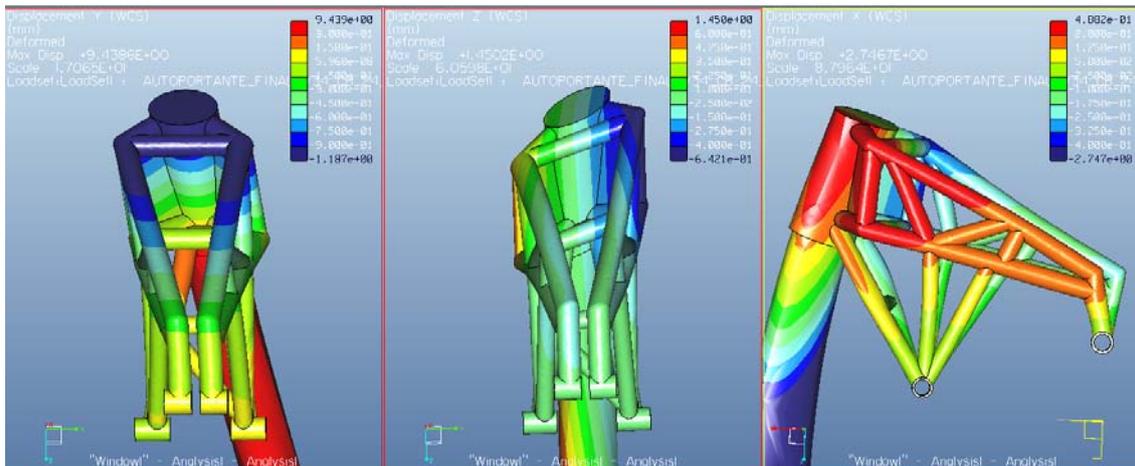


Ilustración 95: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_5.0

En el chasis 5.0 se mantiene prácticamente las mismas deformaciones, por contra aumenta la tensión máxima en un punto concreto, cosa que se tiene que evitar. Esto se produce porque al aplicarle la carga y producirse el cabeceo en la pipa de la dirección, el movimiento no encuentra impedimento hasta que se encuentra con la primera barra vertical, la cual restringe el movimiento como si se tratara de un empotramiento (no permite ni giro ni desplazamiento). Por tanto, como en todo empotramiento se produce la tensión máxima.

Además al absorber la totalidad de la tensión, la segunda barra vertical prácticamente no trabaja. Por lo que supone un aumento de peso que no nos beneficia en ningún sentido.

El aspecto positivo, se produce en el tubo diagonal que he introducido en las primeras barras que van de la placa a la pipa de la dirección. Consigue reducir los desplazamientos en el eje X, y aliviar tensiones en la parte delantera, cosa positiva pues el radiador ira apoyado en dicha zona.

6.4.1.6 Diseño M.A_TOP_6.0

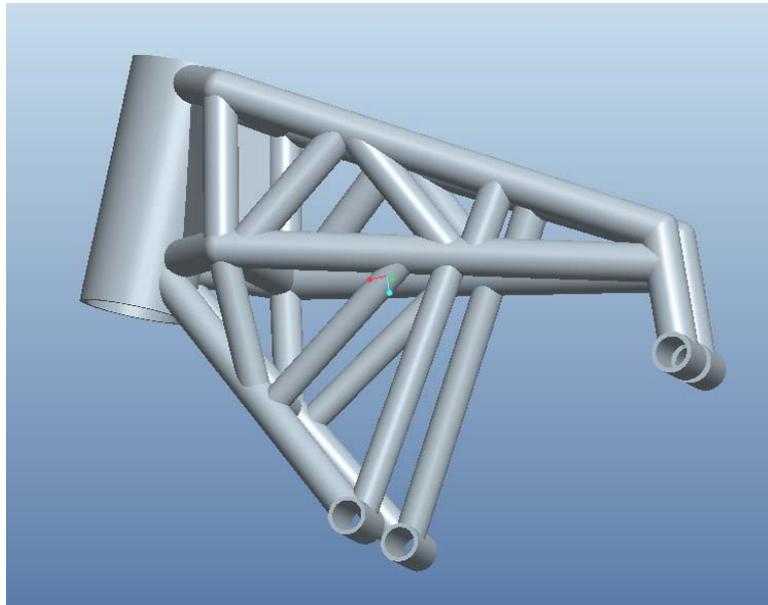


Ilustración 96: Chasis M.A_TOP_6.0

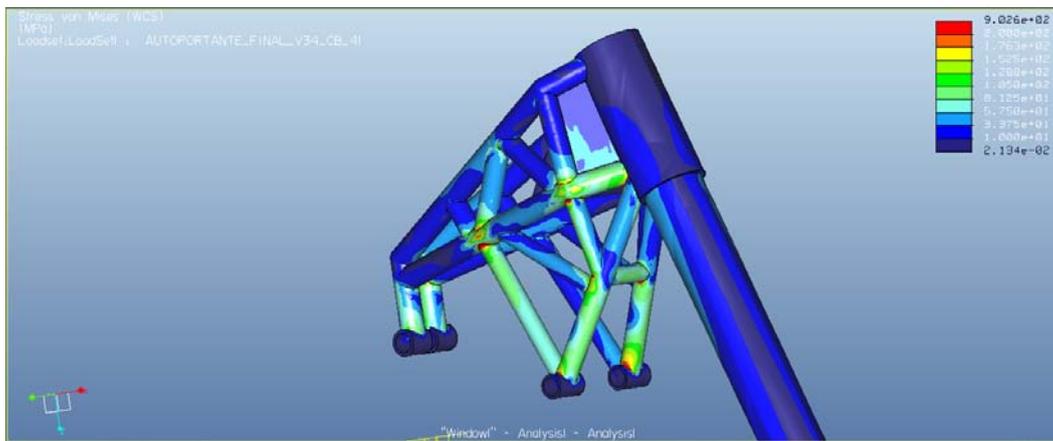


Ilustración 97: Von Mises Chasis M.A_TOP_6.0

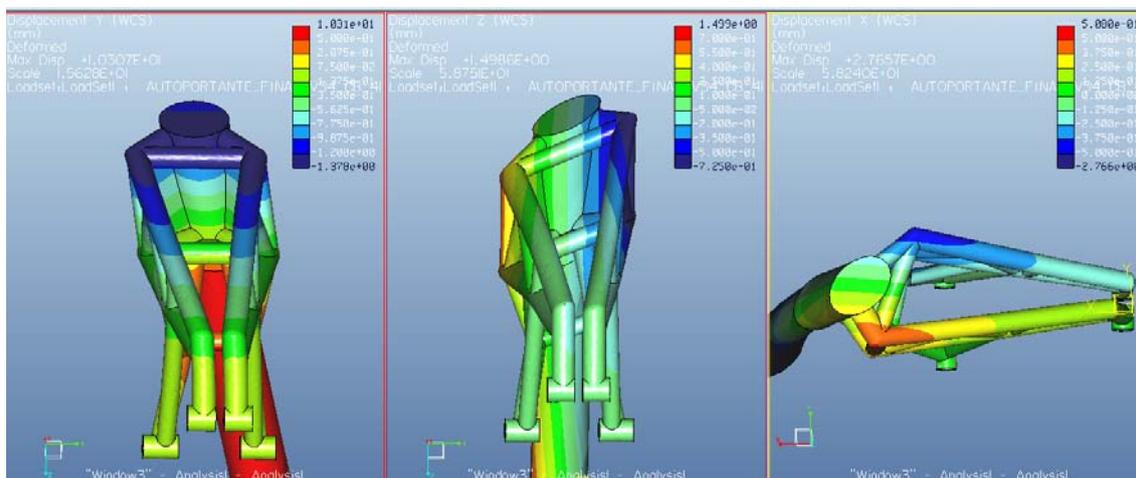


Ilustración 98: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_6.0

El chasis 6.0 reduce el cabeceo y por tanto la deformación, dato que se podría tomar como muy positivo, pero si se analizan los desplazamientos del eje Y se observa que en contraposición a esto, la pipa de la dirección se desplaza lateralmente sin deformarse. El chasis es excesivamente rígido en la parte delantera.

Por otro lado, este chasis quedo descartado por sus problemas de accesibilidad al motor.

6.4.1.7 Diseño M.A_TOP_7.0

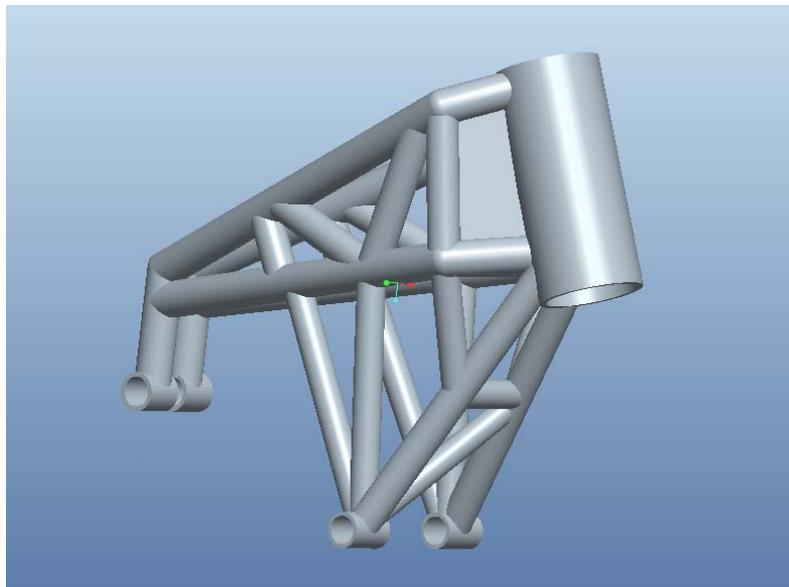


Ilustración 99: Chasis M.A_TOP_7.0

En este chasis se integran todos los cambios anteriores, se reduce la tensión máxima a cambio de un número excesivo de barras, se repite el problema de accesibilidad, y por tanto el chasis no es funcional.

Queda descartado.

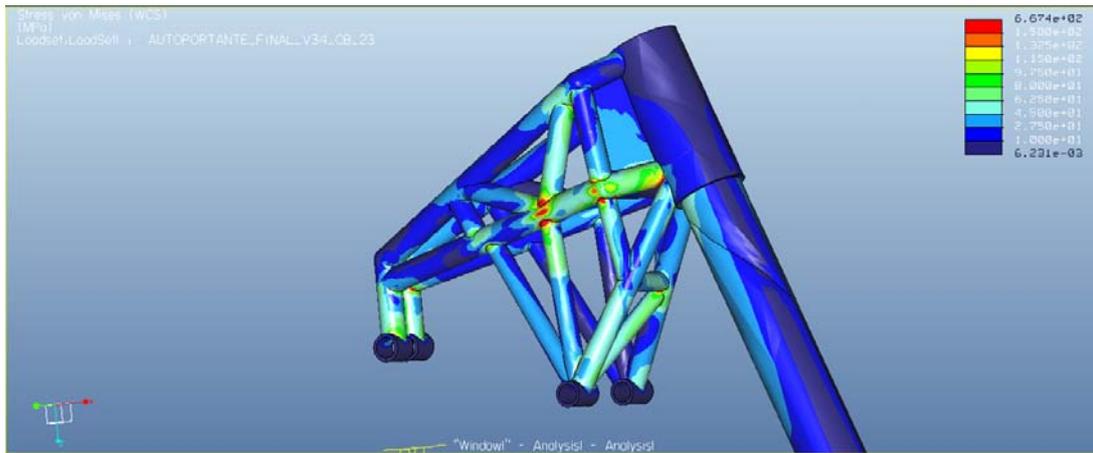


Ilustración 100: Von Mises Chasis M.A_TOP_7.0

Sin embargo, con este chasis se consigue un avance significativo ya que cambiando la posición de los tubos de refuerzo, comparar *ilustración 99* con *96*, estos trabajan mejor, absorben más energía y se consigue reducir el desplazamiento en el eje Z.

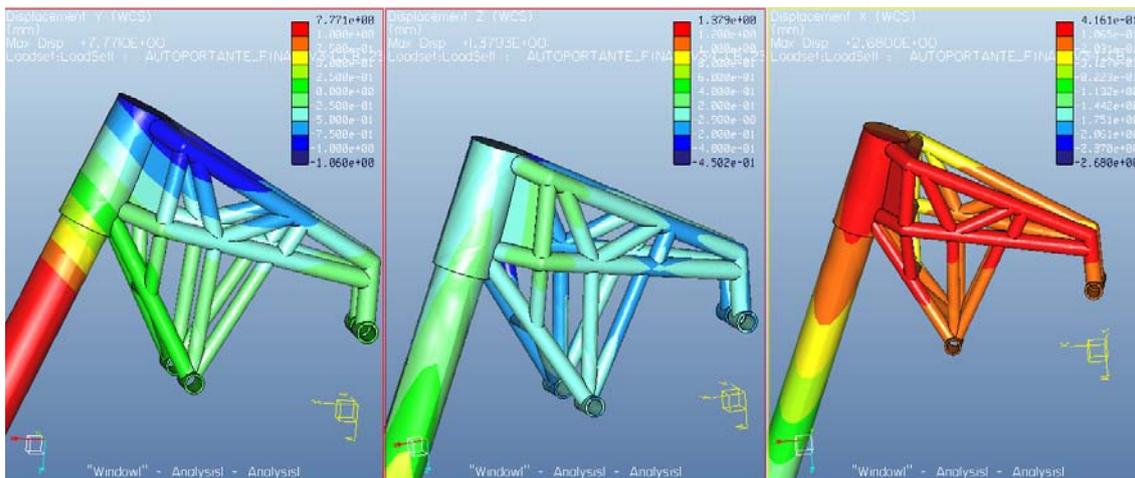


Ilustración 101: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_7.0

6.4.1.8 Diseño M.A_TOP_8.0

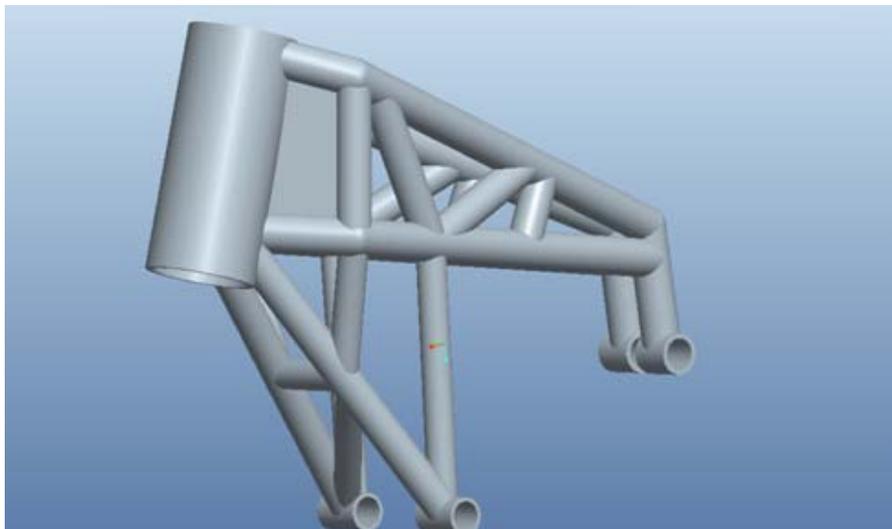


Ilustración 102: Chasis M.A_TOP_8.0

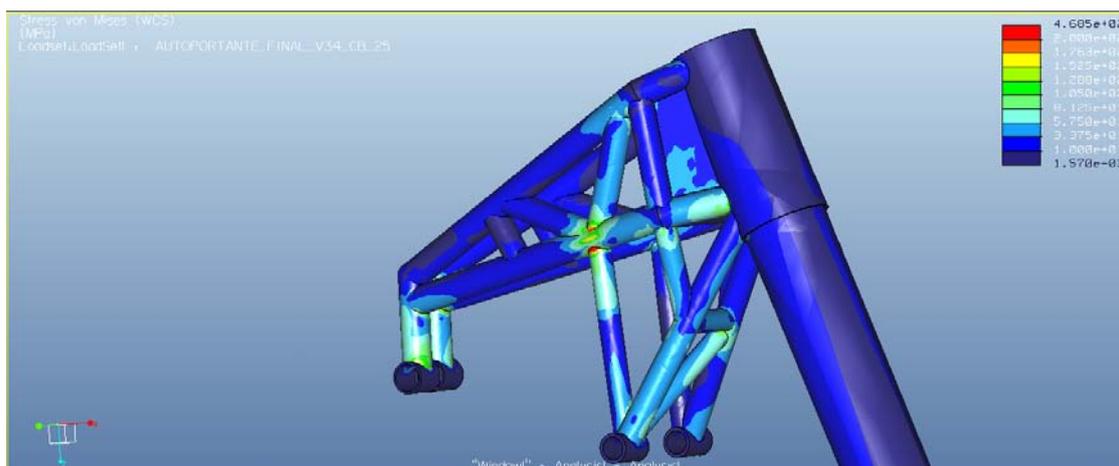


Ilustración 103: Von Mises Chasis M.A_TOP_8.0

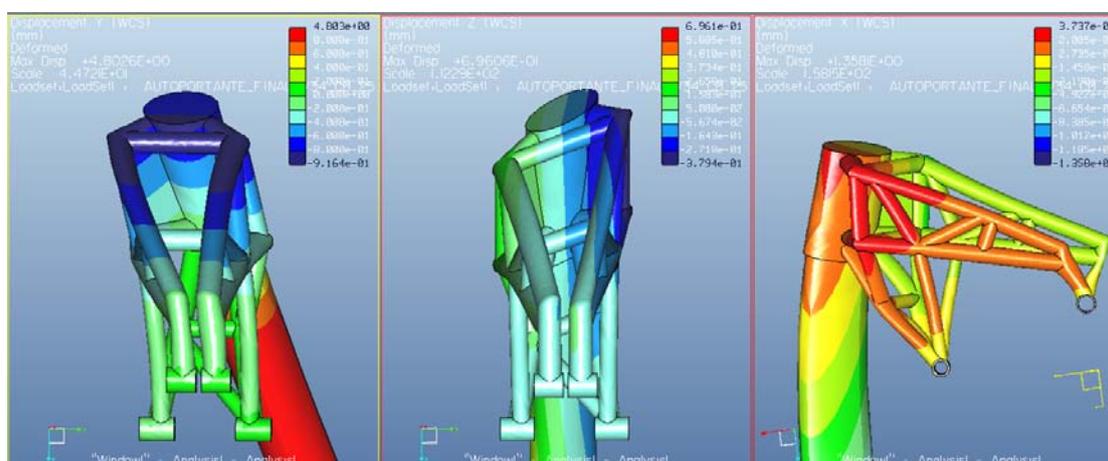


Ilustración 104: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_8.0

Según los resultados anteriores de tensión y deformación máxima, esta es la versión más adecuada para nuestras necesidades.



6.4.1.9 Conclusión sobre chasis auto-portante

EL chasis 8.0 por tanto, queda como el definitivo para la versión auto-portante. Se encuentra una tensión máxima de 460 MPa, que con un estudio más preciso, utilizando el método no lineal o depurando puntos particulares de la geometría se podría reducir, pero no lo suficiente como para poder asegurar una seguridad prolongada en el tiempo y una mayor funcionalidad que la competición MotoStudent 2012.

Si que es cierto que se encuentra por debajo de la tensión máxima admisible por el material 480MPa (AL 70-75) y que la carrera al ser a 7 vueltas estimo que no intervendría fenómenos de fatiga, por lo que matemáticamente sería funcional. También recordar, que las cargas a las que se somete el chasis han sido incrementadas respecto a las que se puede ver exigido el chasis en el circuito y tienen una dirección lo más desfavorable posible, por tanto el estudio del chasis se está haciendo para un caso límite.

Sin embargo, para este chasis propongo que en el caso de ser fabricado, el material empleado sea acero 525 suministrado por la empresa Reynolds, *ilustración 105*.

El acero garantiza en lo que sería la versión M.A_TOP_8.1 un mayor coeficiente de seguridad, y reducirá las deformaciones y desplazamientos del chasis, que se recuerda es la máxima prioridad para los chasis auto-portantes.

REYNOLDS Steel Brands	853	631	725	525	953	931
Mechanical Properties						
UTS (min) (MPa)	1200	800	1050	750	1650	1100
YS (min) (MPa)	1000	650	800	600	1450	1000
E% min	8	10	8	10	8	8
Poisson's Ratio	0.34	0.34	0.34	0.34	0.30	0.32

Ilustración 105: Catálogo de Reynolds en función de la calidad del acero

Para la elección del diámetro y espesor se estima que la mejor relación rigidez/peso sea para la combinación de las dos secciones que se han marcado en rojo, *ilustración 106*.

Diameter mm	Diameter Inch	Wall Thk mm	1 to 9 m £/m	10 to 49m £/m	50m + £/m
**Ø48.3	**1.902	2.6	14.46	13.15	12.05
Ø44.5	*1 3/4"	*2.5	18.73	17.03	15.61
Ø41.4	1 5/8"	1.2	17.00	15.45	14.17
Ø38.1	1 1/2"	1.2	17.39	15.81	14.50
Ø34.9	1 3/8"	1.2	19.43	17.66	16.19
Ø34.9	1 3/8"	1.0	16.78	15.25	13.98
Ø31.8	1 1/4"	1.2	21.09	19.17	17.57
Ø31.8	1 1/4"	1.0	18.19	16.53	15.16
Ø28.6	1 1/8"	1.15	18.75	17.05	15.63
Ø25.4	1"	1.2	20.86	18.97	17.39
Ø22.2	7/8"	1.2	22.49	20.45	18.74
Ø19.0	3/4"	1.2	21.13	19.20	17.60

Ilustración 106: Catalogo de Reynolds en función del diámetro y espesor del tubo

Con el acero 525 y los tubos seleccionados en la ilustración anterior se reconstruye el chasis, al que se le denomina M.A_TOP_8.1, geoméricamente es el mismo chasis, cambiando únicamente el diámetro y espesor de los tubos, *ilustración 107*.

Al tratarse del último análisis para este tipo de chasis, se realiza un redondeo de las aristas a fin de simular la soldadura y se estudiara mediante el módulo de Mechanica con el método no lineal que ofrece Pro Engineer:

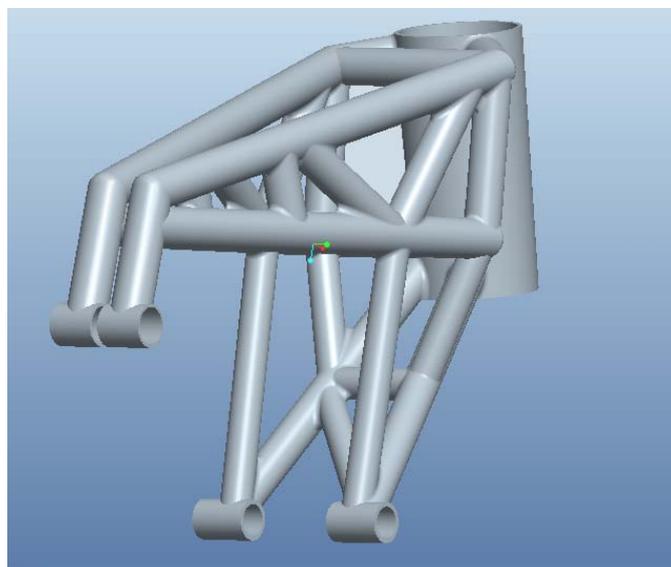


Ilustración 107: Chasis M.A_TOP_8.1

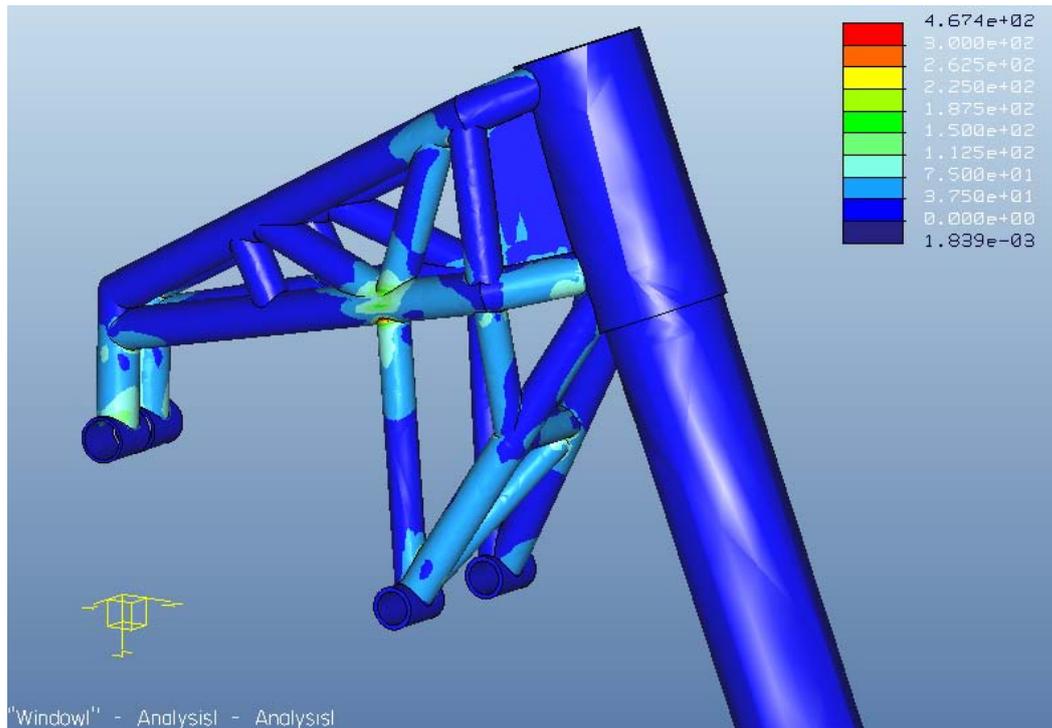


Ilustración 108: Von Mises Chasis M.A_TOP_8.1

La tensión es igual que en el diseño en aluminio, 460 MPa, ya que la tensión no depende del material. Aunque si se esperaba una reducción al redondear las aristas al aplicar el método no lineal, que no se produce en esta ocasión.

El coeficiente de seguridad queda con un valor de:

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{750}{460} = 1.63$$

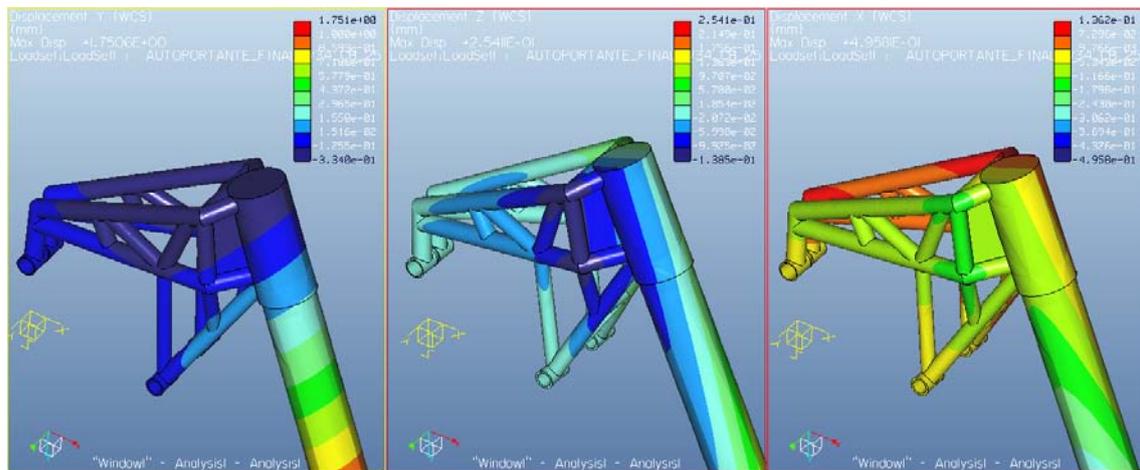


Ilustración 109: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_8.1

Por contrapartida, las deformaciones que se observan en la *ilustración 109* se reducen considerablemente. Habiendo conseguido un bloque muy sólido y rígido, que era la meta para este chasis auto-portante.

Deformaciones (mm)	Y	Z	X
	1.751	2.541 e-01	4.950 e-01

Ilustración 110: Tabla de deformaciones chasis M.A_TOP_8.1



DATOS DEL CHASIS AUTO-PORTANTE

VOLUMEN = 8.4399454e+05 MM³
 ÁREA DE SUPERFICIE = 6.5060898e+05 MM²
 DENSIDAD = 7.7800000e-06 KILOGRAMO / MM³
 MASA = 6.5662775e+00 KILOGRAMO

CENTRO DE GRAVEDAD respecto al cuadro de coordenadas _AUTO-PORTANTE_FINAL_V34_CB_25:

X Y Z 2.5017151e+02 8.5514591e-02 -2.3811795e+02 MM

INERCIA con relación al cuadro de coordenadas _AUTO-PORTANTE_FINAL_V34_CB_25: (KILOGRAMO * MM²)

TENSOR DE INERCIA:

Ixx Ixy Ixz 4.4170520e+05 -1.3538645e+02 4.1233682e+05
 Iyx Iyy Iyz -1.3538645e+02 9.1003740e+05 1.1974567e+01
 Izx Izy Izz 4.1233682e+05 1.1974567e+01 4.9570012e+05

INERCIA en el CENTRO DE GRAVEDAD con relación al cuadro de coordenadas _AUTO-PORTANTE_FINAL_V34_CB_25: (KILOGRAMO * MM²)

TENSOR DE INERCIA:

Ixx Ixy Ixz 6.9396182e+04 5.0879871e+00 2.1181516e+04
 Iyx Iyy Iyz 5.0879871e+00 1.2677279e+05 -1.2173165e+02
 Izx Izy Izz 2.1181516e+04 -1.2173165e+02 8.4744428e+04

MOMENTOS PRINCIPALES DE INERCIA: (KILOGRAMO * MM²)

I1 I2 I3 5.4541386e+04 9.9598804e+04 1.2677321e+05

MATRIZ DE ROTACIÓN de la orientación _AUTO-PORTANTE_FINAL_V34_CB_25 a los EJES PRINCIPALES (en grados):

0.81873	0.57418	0.00120
-0.00103	0.00356	-0.99999
-0.57418	0.81872	0.00350

ÁNGULOS DE ROTACIÓN de la orientación _AUTO-PORTANTE_FINAL_V34_CB_25 a los EJES PRINCIPALES (en grados):

ángulos alrededor de x y z 89.799 0.069 -35.042

RADIOS DE GIRO con relación a los EJES PRINCIPALES:

R1 R2 R3 9.1138834e+01 1.2315937e+02 1.3894858e+02 MM

6.4.2 Transformación del chasis auto-portante al doble cuna

Ahora quedaría la última fase del proyecto que es ir puliendo el diseño y reduciendo las tolerancias. Antes que eso, se decide dar una última vuelta para tratar de mejorar los resultados obtenidos.

Para ello, y tras optimizar todo lo posible las barras que unen el chasis con los puntos de interface, trataré de mejorar la parte superior, sin perder excesivamente la esencia ni la estética del chasis original.

Por tanto, se tenía que mejorar la tendencia del chasis a torsionar en la entrada en curva, es decir cuando se le aplica una fuerza lateral.

Fijándose de nuevo en los chasis de competición se puede encontrar un punto importante de mejora que se explica en el siguiente párrafo:

Merece la pena recordar que el chasis estaba siendo creado para una carrera a 7 vueltas (aproximadamente 12km), no se tenía problemas de consumo por lo que el depósito de combustible podría ser más pequeño de lo habitual, y por tanto se decidió hacer un chasis estrecho tratando de que el conjunto fuera lo más compacto y aerodinámico posible. Esta geometría reduce parte del potencial de las prestaciones mecánicas que el chasis puede ofrecer.

El bastidor en sus versiones anteriores estaba construido para ir directamente unido al motor en su parte superior, lo que obliga a que quede un chasis triangular o cónico, *ilustración 111*.

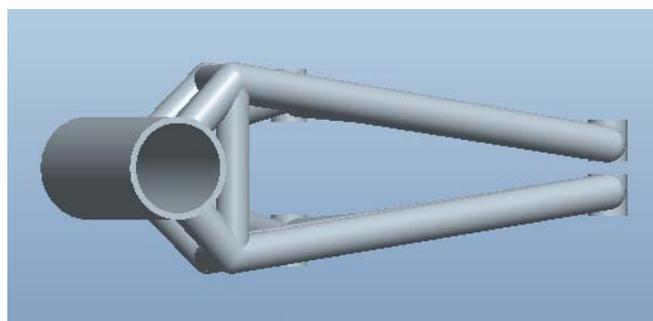


Ilustración 111: Vista en planta de los chasis M.A_TOP

Esta morfología origina que la sujeción al motor, que debería ser la parte más estática y que es la encargada de impedir cualquier tipo de desplazamiento del chasis no trabaje correctamente o todo lo que podría.

Esto se puede explicar de la siguiente manera:
 Cuando se somete a una viga a un momento torsor, , *ilustración 112* esta tiende a girar y retorcerse a lo largo de su directriz.

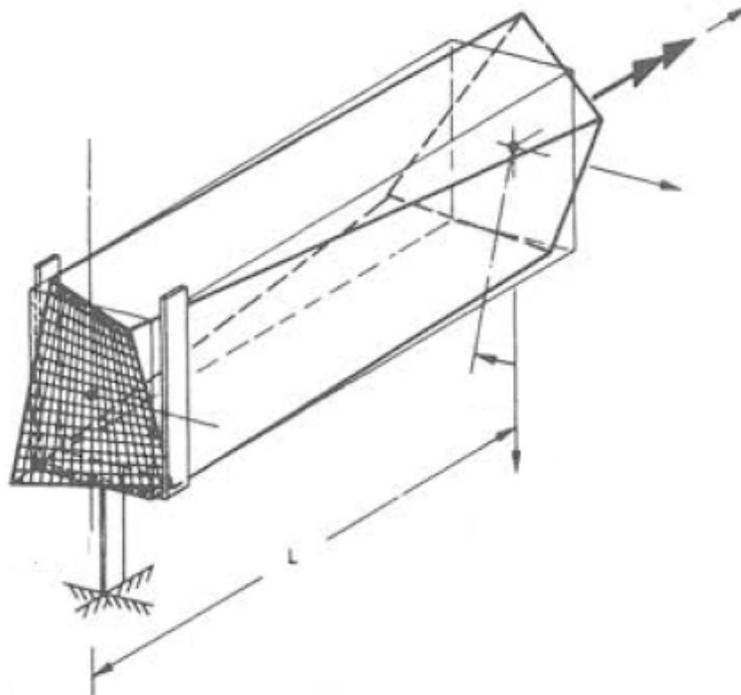


Ilustración 112: Viga sometida a un momento torsor

Esta deformación se traslada a lo largo de la viga hasta los apoyos donde la deformada es cero, ya que los apoyos no permiten el movimiento de la viga porque no pueden desplazarse.

El apoyo al recibir una carga responde a esta fuerza con una reacción.

3ª Ley de Newton: $F_{12} = F_{21}$

Esta reacción origina momento torsor contrario e igual al que produce la carga externa, cuyo brazo tiene la longitud del apoyo a la directriz de la viga.

En nuestro caso, los anclajes al motor son nuestros apoyos y son los encargados de no permitir que el chasis se desplace ni vertical ni horizontalmente. El brazo tendrá una longitud desde el anclaje del motor (apoyo) al eje de simetría del chasis.

$$F_{ext} \times L = F_{reac} \times dist_{apoyo-eje\ simetria}$$

Ante la misma carga externa, si se alejan los apoyos, se consigue un mayor brazo de inercia y por tanto la fuerza de reacción quedara proporcionalmente reducida.

Haciendo un símil para entender este fenómeno, si dos personas con la misma fuerza cogen un cono truncado por lados opuestos y cada uno lo tratase de girar en un sentido diferente en torno al eje de revolución del dicho cono, el sujeto que coja el cono por la parte de mayor diámetro conseguirá girar el cono hacia el sentido que desee.

En este ejemplo el brazo de inercia corresponde al diámetro del cono, a mayor diámetro mayor brazo de inercia.

Tras esta explicación, se cambió la geometría del chasis como verá en los siguientes modelos:

El siguiente chasis (M.A_TOP_9.0), *ilustración 113* no fue diseñado para ser fabricado, sino como estudio para conocer el comportamiento del bastidor con la nueva geometría. Se trata del chasis que hace de nexo entre el auto-portante y el chasis doble cuna abierta que más adelante se desarrolla.

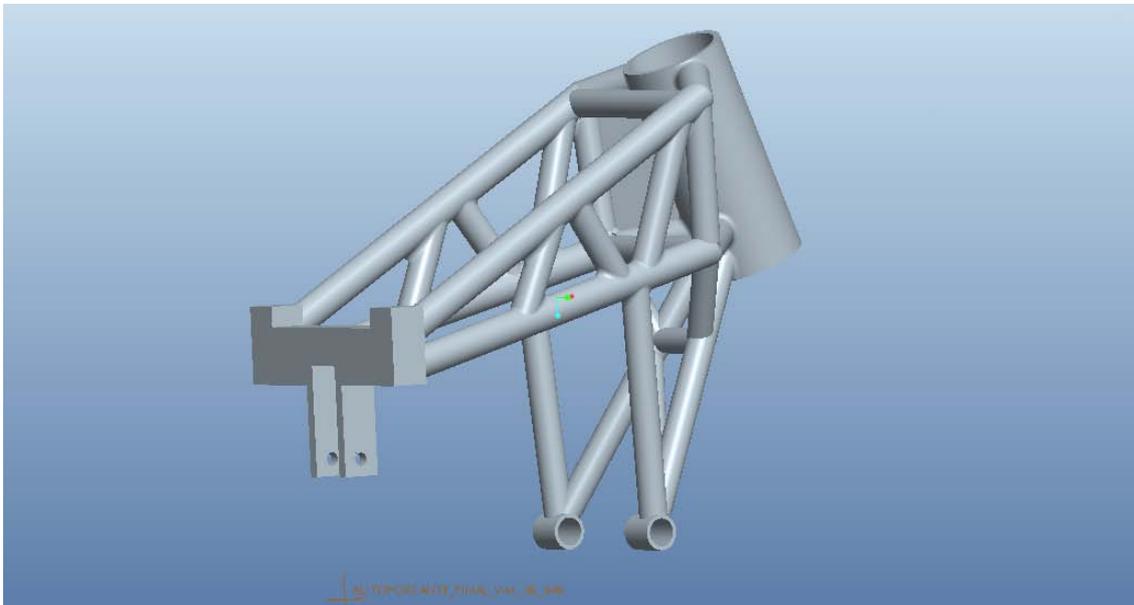


Ilustración 113: Chasis M.A_TOP_9.0

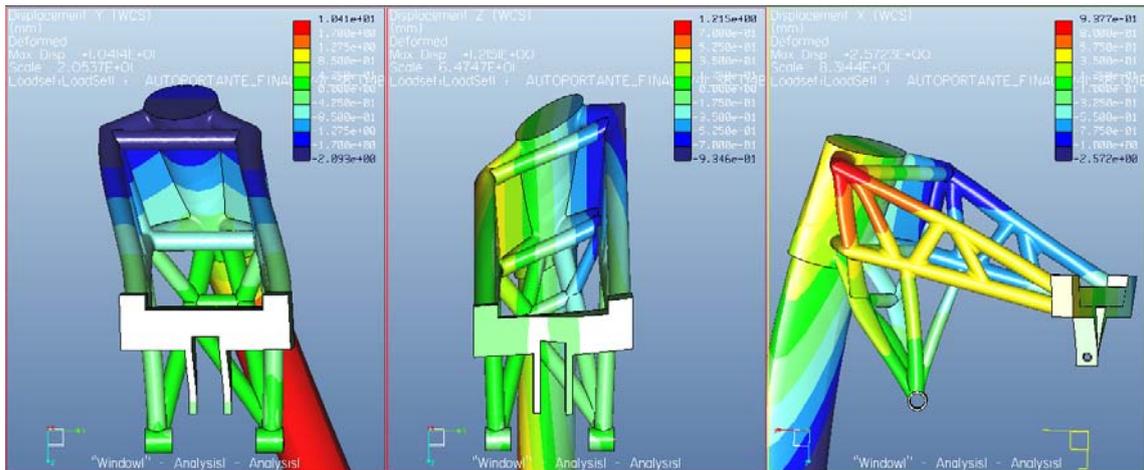


Ilustración 114: Deformación eje Y Z X Chasis M.A_TOP_9.0

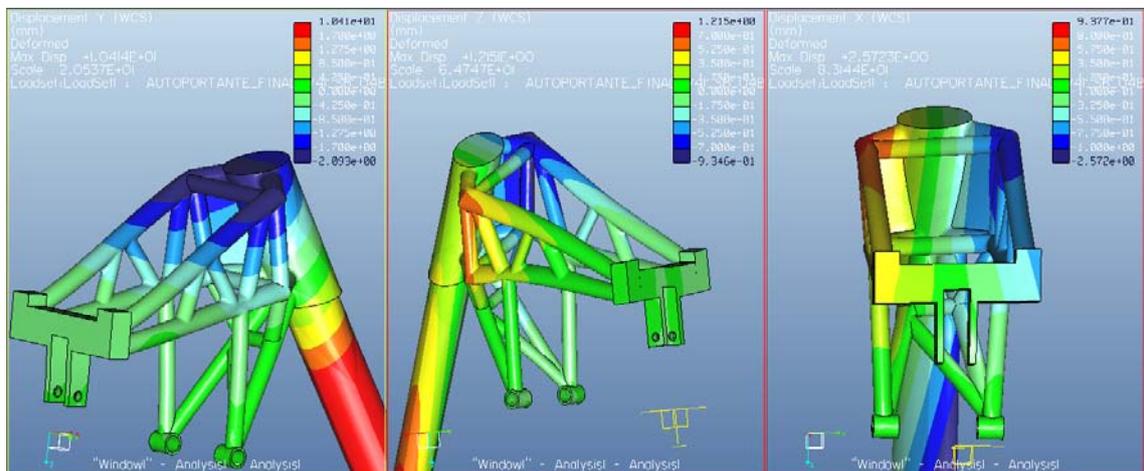


Ilustración 115: Vista en detalle sujeción posterior M.A_TOP_9.0

Como se ve en las *ilustraciones 114 y 115*, la nueva estructura se convierte en un empotramiento, los desplazamientos en la parte posterior son nulos.

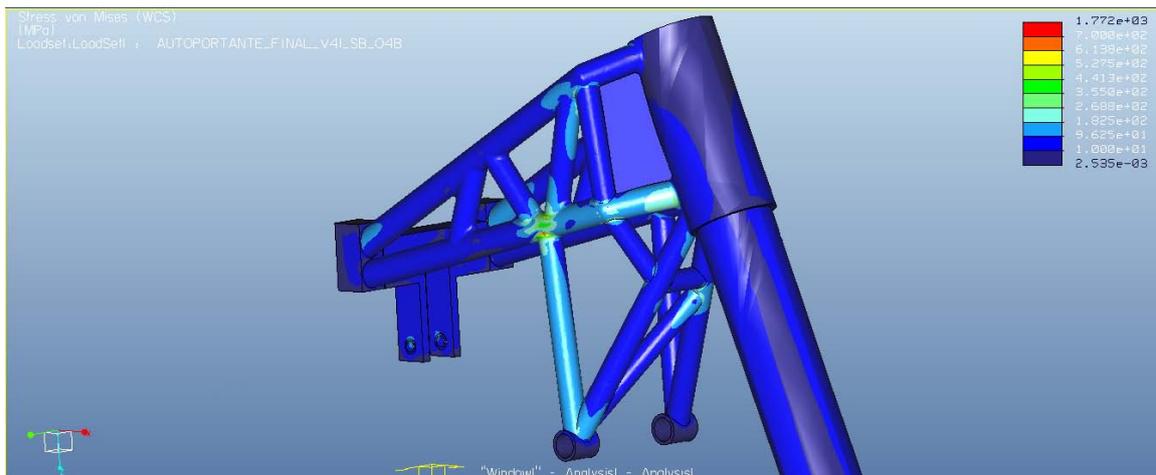


Ilustración 116: Von Mises Chasis M.A_TOP_9.0

Para reducir los valores de la tensión máxima se tendrá que reducir la rigidez de la parte trasera, ya que al ser excesivamente rígido no se deforma (actúa como un empotramiento) y crea una tensión excesiva en el chasis. Además la deformación debe ser progresiva, y esta versión M.A_TOP_9.0 sufre toda la deformación en la parte delantera.

El paso siguiente será cambiar la geometría posterior del chasis para reducir su rigidez con la idea de conseguir una deformación controlada a lo largo del chasis, y que con dicha deformación, más progresiva y homogénea, absorba parte de la energía que nos estaba originando unos valores excesivos de tensión.

Tras el estudio que se hace a través del chasis M.A_TOP_9.0, y que sirvió para aprender cómo se comporta la nueva geometría al someterle a estas solicitaciones, comienzo el estudio del chasis doble cuna abierta. Este estudio parte de la información adquirida en el desarrollo del chasis auto-portante, y se debe interpretar como la evolución de éste, y no como un estudio paralelo.

6.4.3 Diseño chasis tubular doble cuna abierto

6.4.3.1 Diseño M_DC_10.0



Ilustración 117: KTM Fabrika Moto 3 2013 (www.blog.derestricted.com [16])

El objetivo será como se dijo anteriormente el de asemejar el comportamiento de este chasis al de un doble viga. Mejorando el paso por curva que nos ofrecía el auto-portante y sacrificando lo menos posible la rigidez longitudinal.

Por otro lado, se produjo un cambio importante en la configuración de la motocicleta, el equipo destinado a la aerodinámica e inyección propuso un cambio en la admisión de aire “Ram-air” colocándolo en la parte central de la cúpula, en lugar de por debajo de la dirección. Para acoplar este sistema se debería de canalizar el aire a través de la pipa de dirección, por lo que las placas laterales que se utilizan para controlar el movimiento de la pipa de dirección deben ser eliminadas.



Ilustración 119: Ram-air con toma de aire lateral



Ilustración 118: Ram-air con toma de aire por debajo de la pipa de dirección



Ilustración 120: Ram-air con toma de aire central

Se comienza a modificar el chasis auto-portante para transformarlo en el doble cuna que era la segunda opción que se ajustaba a nuestras necesidades.

Para ello se diseñan una serie de placas que unieran la parte delantera (antes auto-portante), con los tubos que unen el chasis al eje donde van acoplados el basculante y motor, *ilustraciones 121 a 124.*

Estas placas también tienen la función de sujetar el sub-chasis, por lo que los anclajes deben ser robustos y rígidos para que los desplazamientos sean mínimos y la placa aguante el peso del piloto.



Ilustración 121: Placa 1



Ilustración 122: Placa 2

Para las dos primeras placas se trató de hacer un diseño compacto, inspirado en la Moto2 del equipo RZ-Honda, *Ilustración 17*. Pero estos diseños crean una concentración de tensiones innecesaria, debido a que la triangulación del sub-chasis no es la adecuada y no soporta adecuadamente los momentos flectores que generan el peso del piloto.

Se deben separar los puntos de interface del sub-chasis con el chasis para reducir esta tensión, así que trataré de reproducir la triangulación del chasis de la NSF 250R, *Ilustración 66*.

Esta idea ya se representa en las placas tres y cuatro:

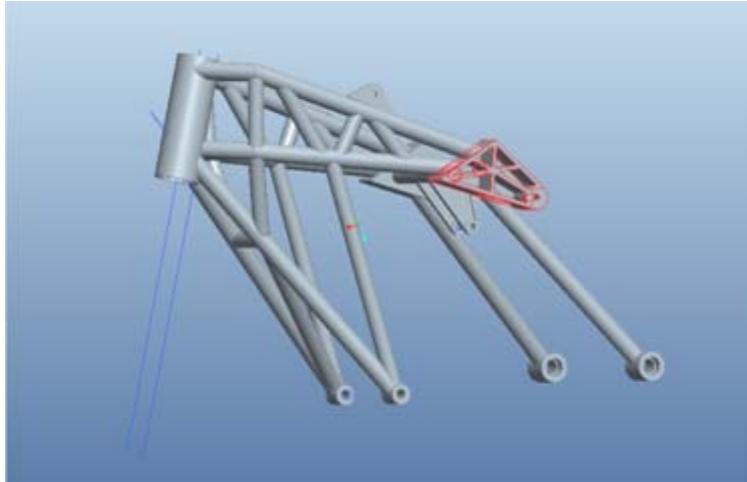


Ilustración 123: Placa 3

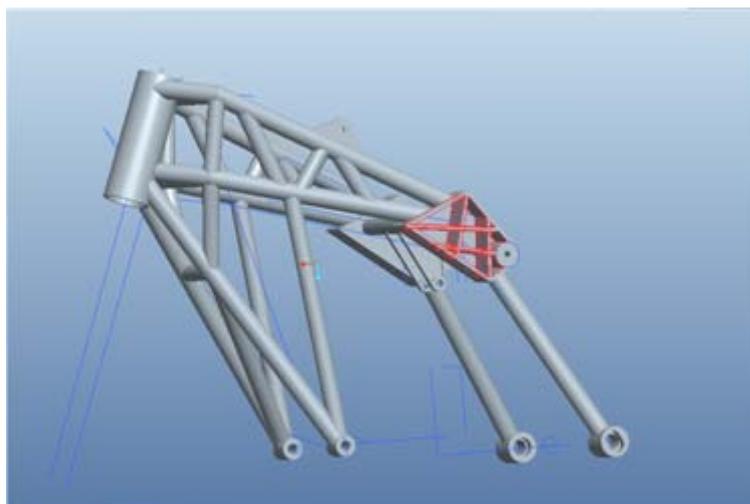


Ilustración 124: Placa 4

Los resultados son favorables, reducen la tensión del conjunto (chasis y sub-chasis) y el sub-chasis es más estable. Pero no son del todo viables en términos de fabricación, ya que para que la soldadura sea lo más efectiva posible, el tubo debe ser perpendicular a la placa. Otro dato importante, es que para que la soldadura sea factible los espesores de los tubos y de la placa han de ser iguales, en nuestro caso como los tubos son de 2mm de espesor, la placa ha de tener ese espesor en su cara exterior.

Para que la placa sea ligera, se mecaniza el diseño con los nervios en forma de cruz, así se consigue la rigidez necesaria, es rápido de mecanizar por lo que se ahorrará en este aspecto y se consigue aligerar mucho peso, que tratándose de una masa

colocada en la parte alta del chasis influye mucho en la variación del centro de gravedad.

Teniendo en cuenta estos datos se diseña la placa 5, *ilustración 125* que será la que se propone como definitiva para este chasis y que ya se ve en la siguiente ilustración integrada en el chasis M_DC_10.0

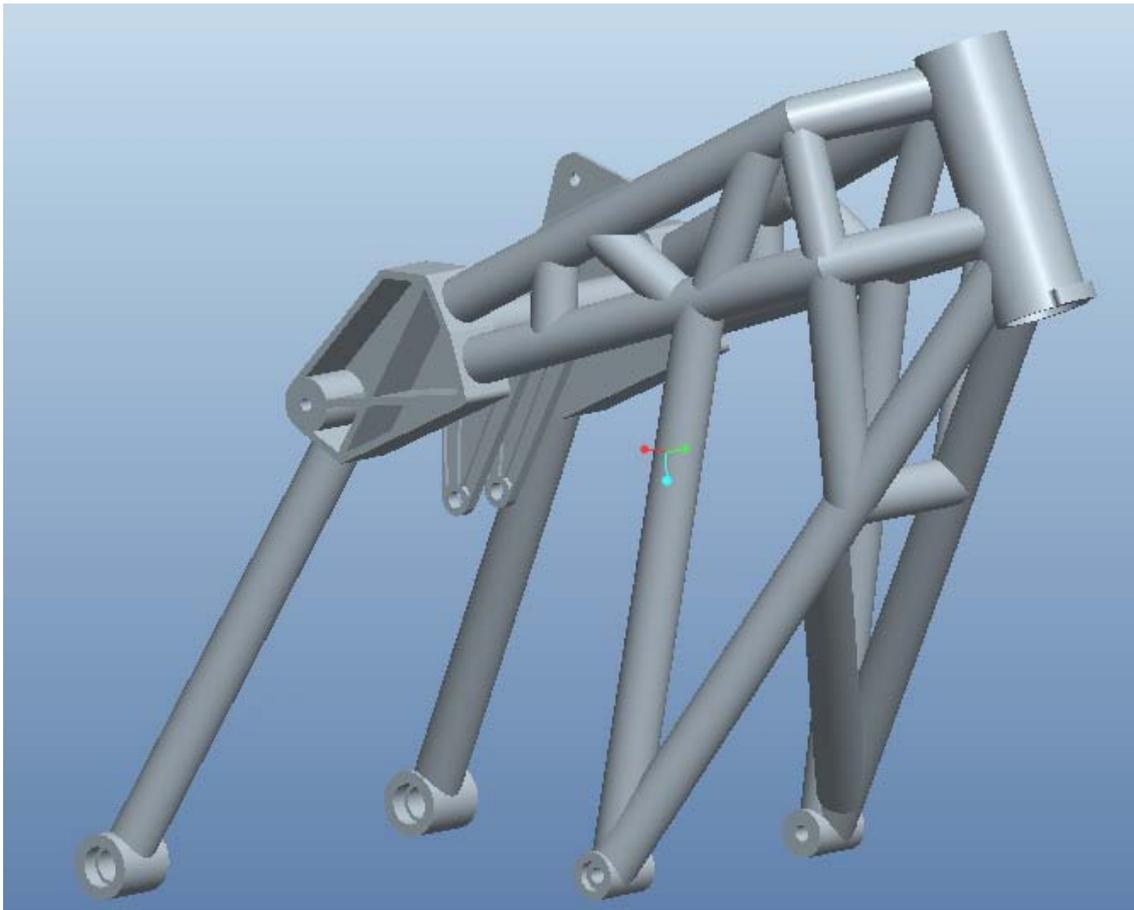


Ilustración 125: Chasis M_DC_10.0 (con la placa 5)

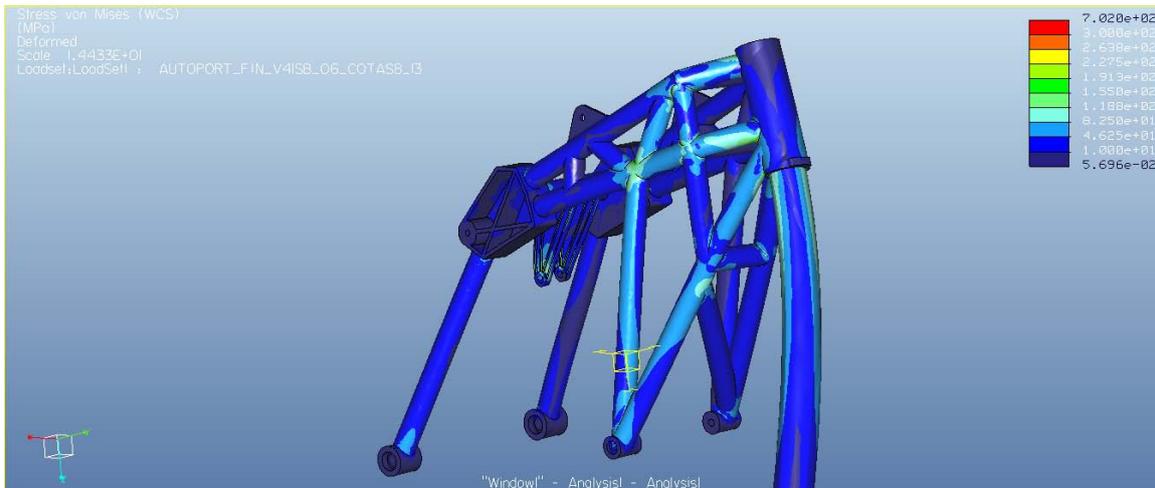


Ilustración 126: Von Mises Chasis M_DC_10.0

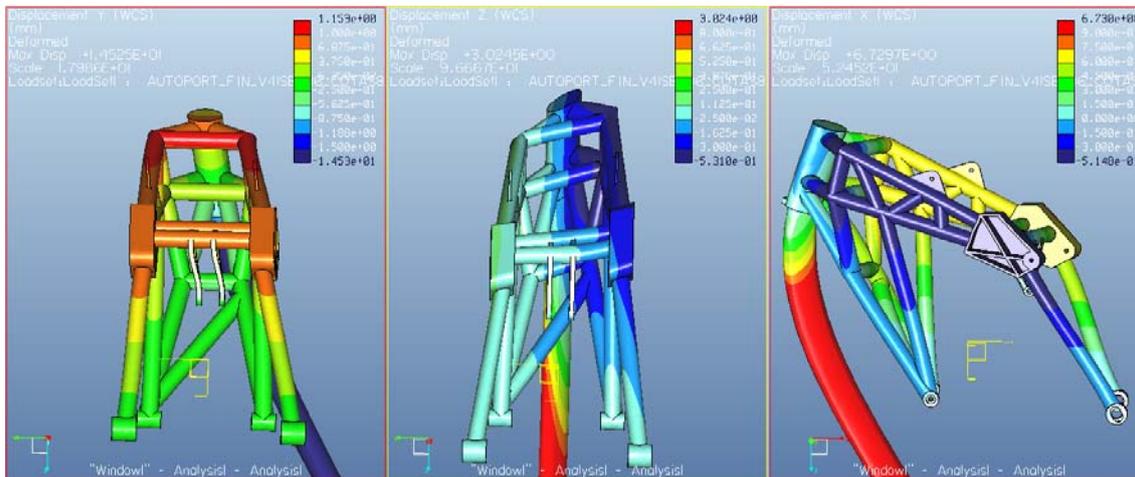


Ilustración 127: Deformación eje Y Z X Chasis M_DC_10.0

Como se observa en la *ilustración 126*, no hay ninguna zona reseñable que este excesivamente tensionada, el chasis trabaja de una manera homogénea y no soporta tensiones superiores a los 300MPa.

Si que se observa un valor puntual máximo desproporcionado. Para asegurarnos que se trata de un punto de concentración debido a una arista o un punto singular, se realizará otro análisis más preciso, con mas iteraciones y usando el método “no lineal” que ofrece Pro Engineer.

Este método elimina las tensiones que puede detectar el módulo de elementos finitos en líneas o puntos, es decir estudiará la tensión provocada por largas deformaciones. Este análisis es de gran valor para contrastar con el anterior análisis, ya que elimina los picos de tensión obtenidos en aristas como las uniones entre tubos.

También en estos últimos análisis, se realizará el redondeo de las aristas a fin de simular el efecto de la soldadura en el chasis, *ilustración 128*, esto ayuda a reducir las tensiones en las uniones entre tubos.

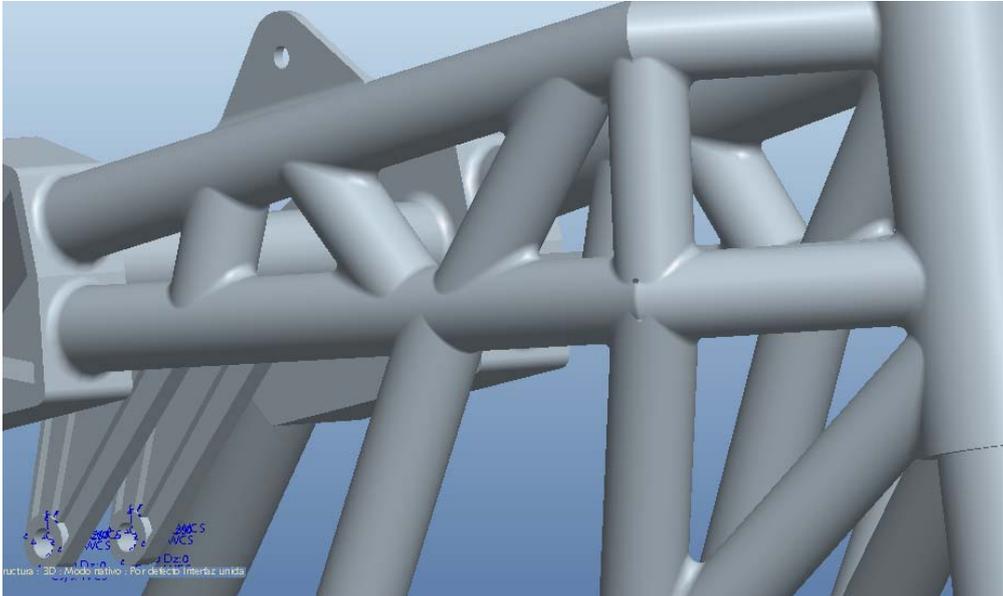


Ilustración 128: Soldaduras

Los resultados son más favorables y en la línea que se esperaba, cosa que no ocurrió en la simulación del chasis auto-portante, se han reducido las tensiones máximas en cada zona específica del chasis y se han eliminado los valores de concentración de tensión en vértices y aristas, *ilustración 129*.

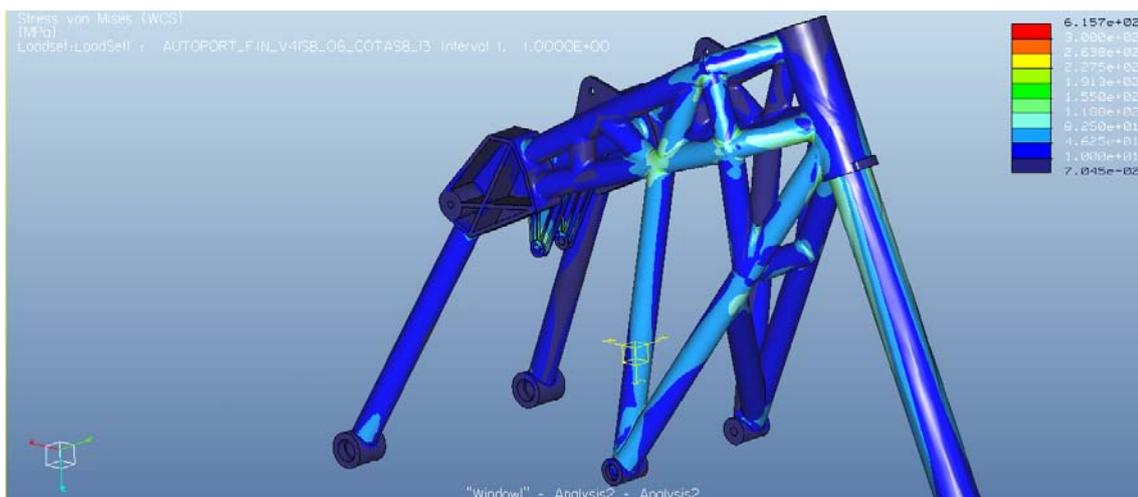


Ilustración 129: Von Misses Chasis M_DC_10.0

Sin embargo, en la placa de sujeción al motor, *ilustración 130* y *131* se encuentra el valor máximo de tensión, todavía se deben realizar modificaciones para reducir los puntos de concentración en la arista.

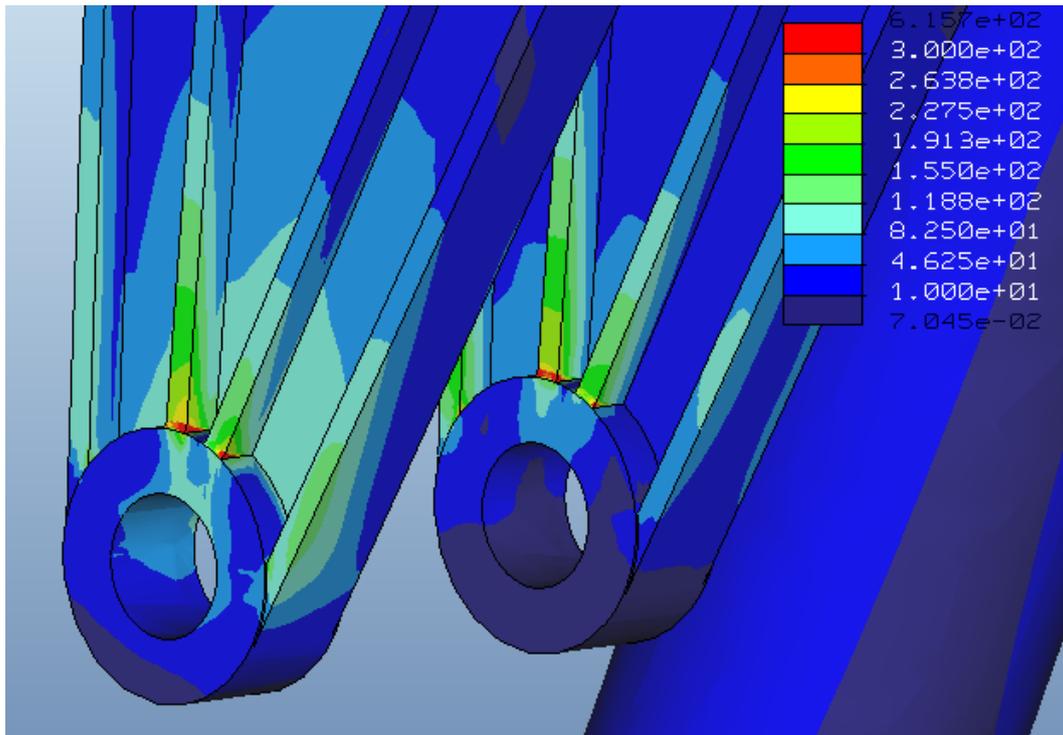


Ilustración 130: Detalle del punto de concentración máximo 1 en chasis M_DC_10.0

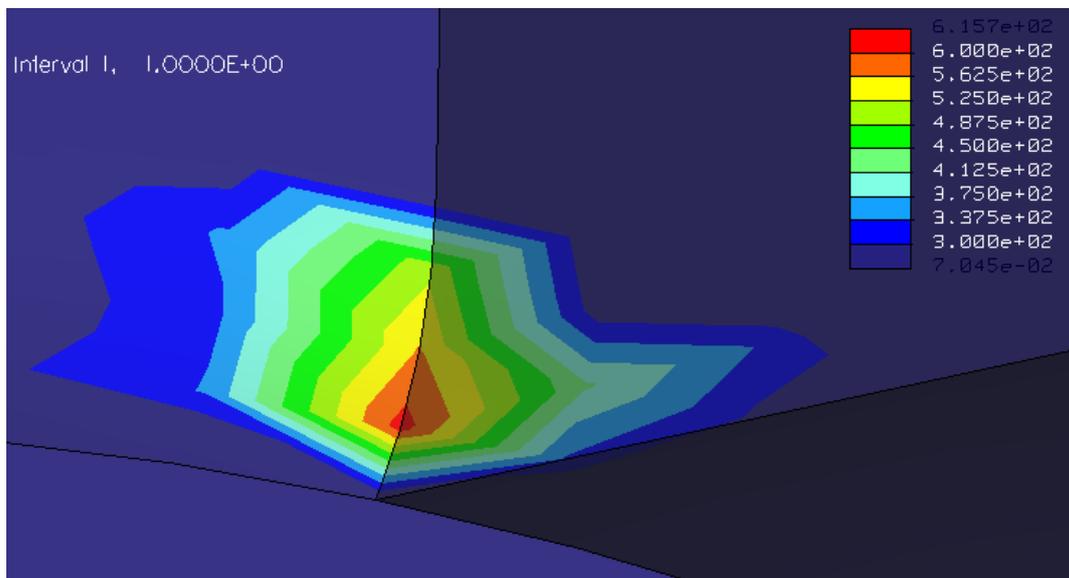


Ilustración 131: Detalle del punto de concentración máximo 2 en chasis M_DC_10.0

Por tanto para el siguiente modelo se rectifica la placa.

6.4.3.2 Diseño M_DC_10.1

Para reducir la tensión, se realiza un redondeo en el acabado de la placa eliminando las aristas vivas pero manteniendo el mismo espesor de los nervios de la placa.

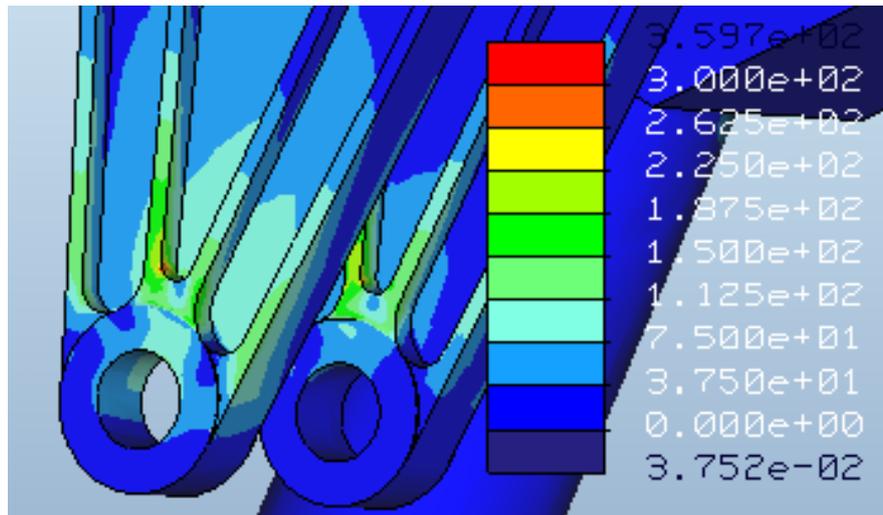


Ilustración 132: Detalle del punto de concentración en chasis M_DC_10.1

Ahora se obtiene un valor de tensión más pequeño (42% menor) y real, sacrificando mínimamente el peso de las placas.

Ahora como se observa en la *ilustración 133*, ya se tiene un conjunto óptimo y que garantiza una seguridad estructural, el 90% del chasis se encuentra por debajo de los 100MPa.

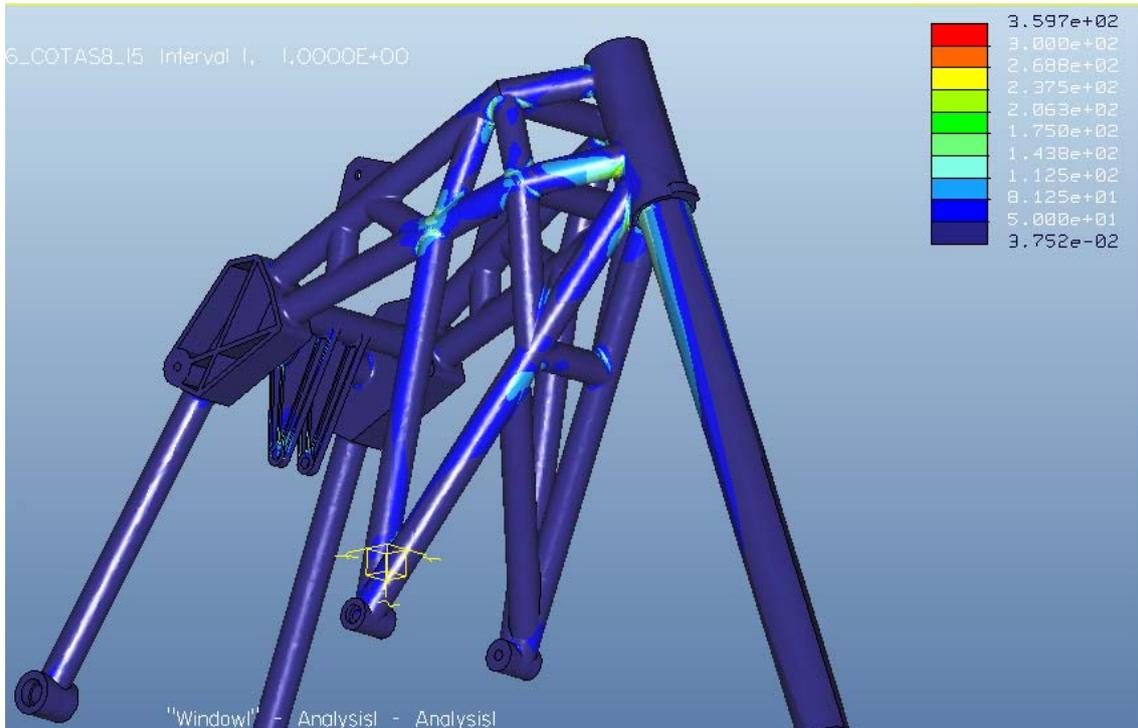


Ilustración 133: Von Mises Chasis M_DC_10.1

La otra zona donde se concentra mayor tensión es en el extremo de los tubos que agarran a la pipa de dirección, *ilustración 133*, solución entendible ya que el desplazamiento de la pipa de dirección en ese punto es perpendicular al tubo que la sujeta, y toda esa energía recae sobre el espesor del tubo que está en contacto. Además es la primera restricción que encuentra la pipa al movimiento lateral.

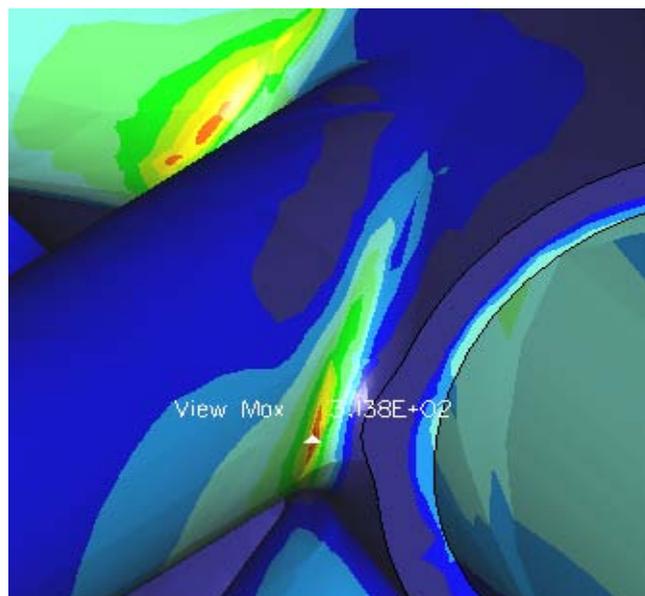


Ilustración 134: Detalle del punto de concentración en chasis M_DC_10.1

Las deformaciones en el chasis se representan en la *ilustración 135*:

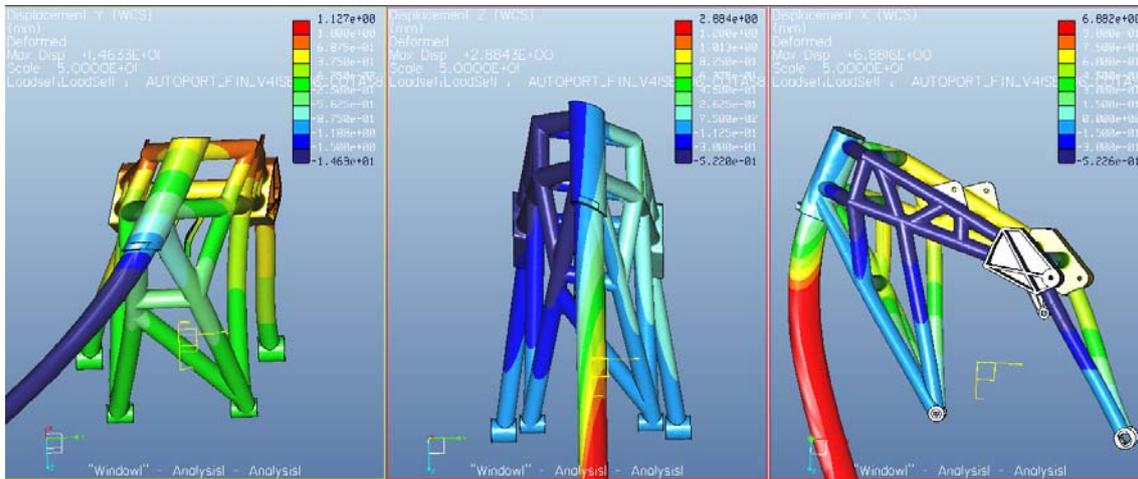


Ilustración 135: Deformación eje Y Z X Chasis M_DC_10.1

6.4.3.3 Conclusión chasis doble cuna abierta

El chasis M_DC_10.1 queda como chasis definitivo para este proyecto, ya que se ha conseguido el objetivo que se propuso, que es poder crear un chasis tubular doble cuna abierto en aluminio.

Se ha reducido la tensión máxima para el caso más desfavorable (solicitud mixta) hasta un valor de 360 MPa que me permite poder asegurar que el chasis en el caso de ser fabricado en aluminio 7075 tenga una seguridad estructural duradera. El coeficiente de seguridad queda con un valor de:

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{480}{360} = 1.33$$

Las deformaciones son correctas y aceptables, y no difieren excesivamente a las del chasis auto-portante, excepto la deformación en el eje Y provocada por la torsión de la pipa de dirección, hándicap de este tipo de bastidores.

Deformaciones (mm)	Y	Z	X
	1.411 e+01	2.884	6.882

Ilustración 136: Tabla de deformaciones

Es por estos resultados en el cálculo de elementos finitos y por los valores que se obtuvieron en el apartado 5.5 *Tabla resumen de prestaciones*, donde se analizan las prestaciones en circuito y la posibilidad de ser fabricado y compatible con el resto del

conjunto, que propongo el chasis doble cuna abierto como opción final para acoplarlo en la motocicleta que competirá en MotorLand, denominada MS2.

6.4.4 Tabla resumen chasis

Numero	Foto	Tensión Von Mises (MPa)	Desplazamiento Eje Y (mm)	Desplazamiento Eje Z (mm)	Desplazamiento Eje X (mm)	Masa (Kg)	Coefficiente seguridad	Espesor tubos (mm)	Material	Fabricación
1								2	Al-Zn	Facil
2		1286						2	Al-Zn	Facil
3		1634	9.51	0.80	1.29	2.28	-	2	Al-Zn	Facil
4		777	9.49	1.33	2.43	2.41	0.61	2	Al-Zn	media
5		775	9.43	1.45	2.74	2.56	0.62	2	Al-Zn	media
6		902	10.31	1.49	2,76	2.55	0,53	2	Al-Zn	dificil
7		667	7.77	1.38	2.68	2.63	0,72	2	Al-Zn	dificil
8		460	4.023	0.69	1.25	2.36	1,04	2	Al-Zn	Media
8.1		467	1.75	0.25	0.49	12,77	1,63	1.2	Acero 525	Media
9		1772	10.41	1.21	2.57	2.07	-	1.2	Al-Zn	Media
10		615	14.53	3.02	6,73	4.37	0,78	2	Al-Zn	Media
10.1		360	14.63	2.88	6.88	4.38	1,34	2	Al-Zn	Media

6.5 Cálculo MEF específico con el chasis definitivo

Para finalizar el estudio de elementos finitos se realizará sobre el chasis definitivo que se propone para el conjunto de la MS2, M_DC_10.1, que se considera como una de las posibilidades para la MotoStudent 2, a una sollicitación menos radical y más detallada. Se recuerda que todo el estudio anterior se realizó con una sollicitación mixta (carga en los tres ejes de coordenadas).

Ahora descompondré el estudio en dos partes, primero simularé las sollicitaciones de la motocicleta en frenada (cuando la motocicleta está completamente vertical) y luego en el paso por curva (cuando se encuentra inclinada y en pleno vértice).

Para ello se realizará la simulación con el método “no lineal”, pues al tratarse de un diseño final, quiero obtener la máxima calidad posible en los resultados, aunque conlleve de más tiempo de cálculo.

6.5.1 Frenada

La justificación de los cálculos son los mismos que en los apartados posteriores, y que se detallaron en el punto 5.8.3 *Condiciones de contorno*.

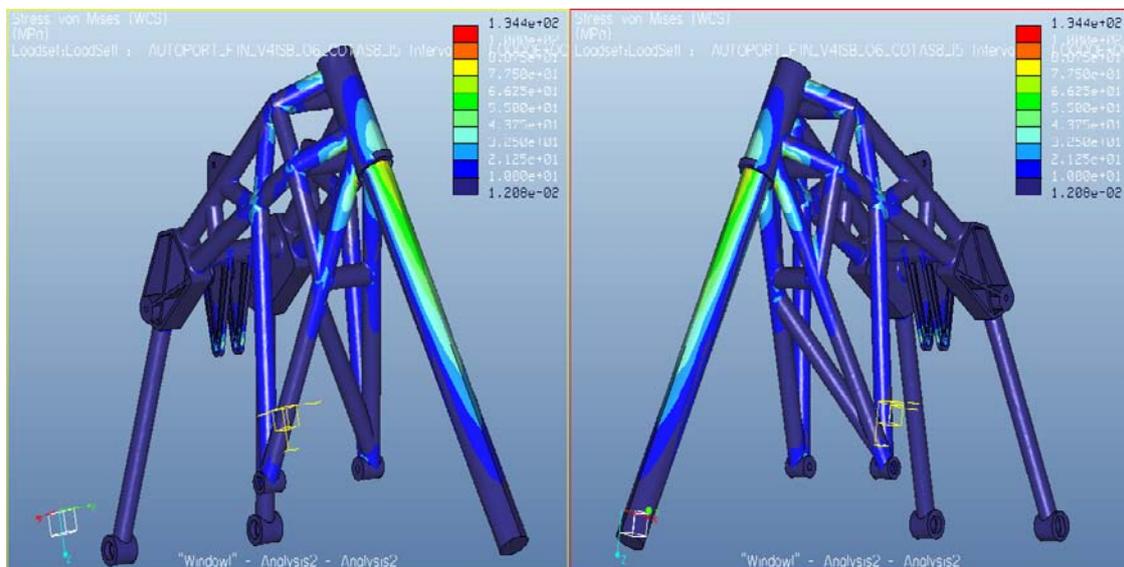


Ilustración 137: Von Mises. Frenada Chasis M_DC_10.1 (simetría)

El coeficiente de seguridad queda con un valor de:

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{480}{134} = 3.58$$

Destacar que al no haber carga lateral en este primer análisis, las dos fuerzas (fuerza de rozamiento y fuerza normal) están aplicadas en el eje de simetría, y por tanto la tensión también es simétrica, *ilustración 137*. Observar esto, nos garantiza que el chasis se ha diseñado de manera simétrica, y no esta descompensado ni tiene fallos en el diseño.

También lo se puede comprobar viendo las deformaciones, *ilustración 138*:

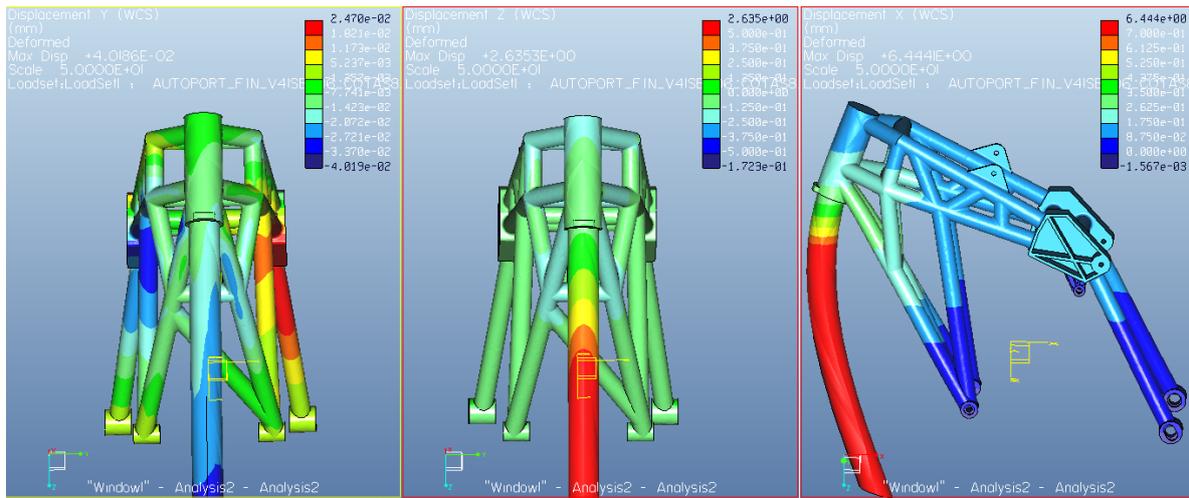


Ilustración 138: Deformación eje Y Z X. Frenada Chasis M_DC_10.1

Deformaciones (mm)	Y	z	x
	4.019e-2	2.635	6.444

6.5.2 Paso por curva

En este análisis el chasis está sometido a la fuerza lateral, todo el peso del conjunto recae perpendicular a la horquilla delantera. La justificación de los cálculos son los mismos que en los apartados posteriores, y que se detallaron en el punto 5.8.3 *Condiciones de contorno*.

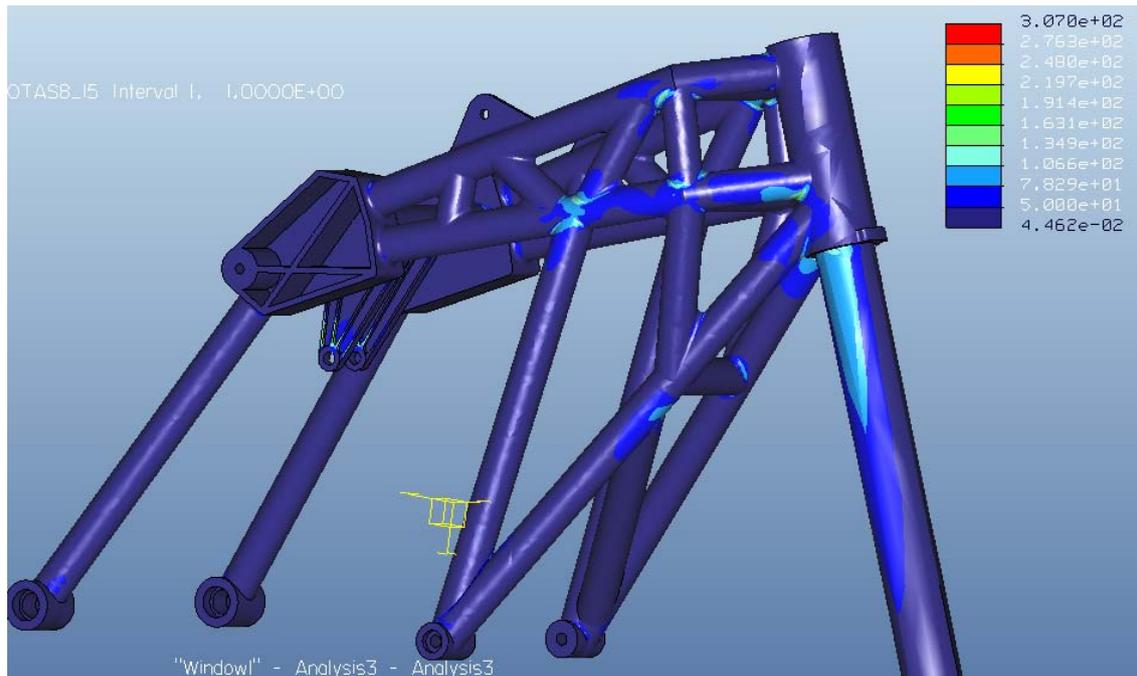


Ilustración 139: Von Mises. Paso por curva Chasis M_DC_10.1

El coeficiente de seguridad queda con un valor de:

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{480}{307} = 1.57$$

Destacar que la tensión es muy pareja a la sollicitación mixta, por lo tanto las estimaciones que se hicieron antes de los primeros análisis son correctas, el gran hándicap de los chasis tubulares frente a los doble viga está en la torsión de la pipa de dirección.

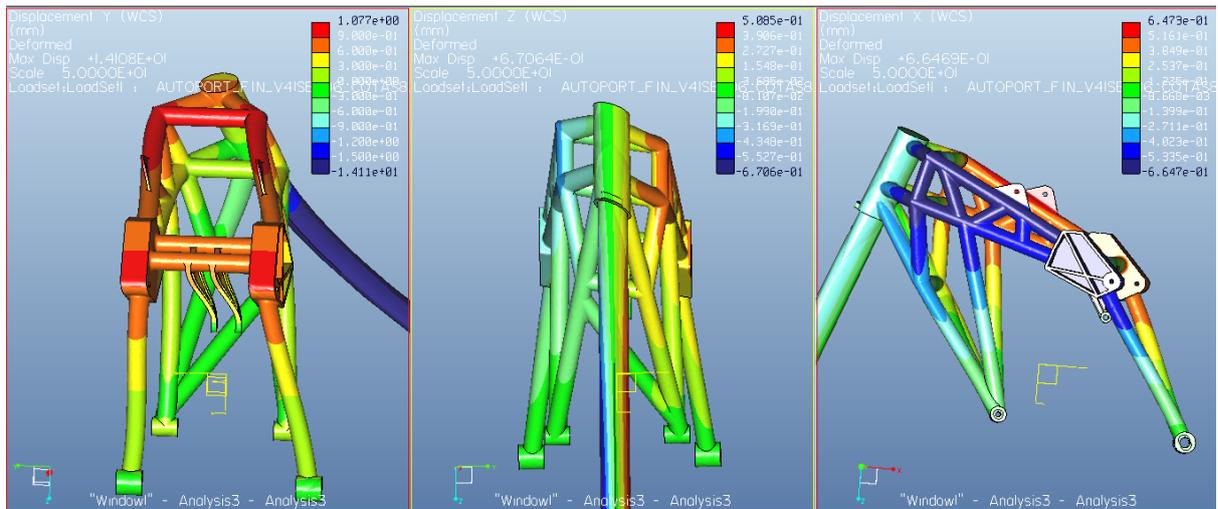


Ilustración 140: Deformación eje Y Z X. Paso por curva Chasis M_DC_10.1

Las deformaciones son óptimas permitiendo absorber parte de las irregularidades del asfalto, pero sin llegar a desalinear las ruedas.

Deformaciones (mm)	Y	Z	X
	1.411 e+1	6.706 e-1	6.647e-1

Ilustración 141: Tabla resumen de resultados



7. CÁLCULO DE ELEMENTOS AUXILIARES

7.1 Sub-chasis

7.1.1 Justificación de las condiciones de contorno para el estudio MEF

El estudio tratará de simular las condiciones a las que el sub-chasis se verá sometido en el circuito.

El caso más desfavorable se produce cuando la moto se encuentra en máxima aceleración, el peso del piloto recae integro sobre el sub-chasis.

7.1.2 Las cargas

La carga a la que se someterá el sub-chasis será la del propio peso del piloto, *ilustración 142*:

$$P_{piloto} = m_{piloto} \times g$$

Siendo:

P_{piloto} : Peso del piloto (N)

m_{piloto} : masa del piloto (Kg)

g : fuerza gravitatoria 9,8 N / Kg.

Se recuerda, como en el caso de las cargas a las que se somete al bastidor, que se aplica un coeficiente de seguridad aumentando la estimación de la masa en el 20%.

$$m_{piloto} = (m_{piloto\ real}) \times 1.2$$

$$m_{piloto} = 84\ Kg$$

Por tanto, el peso del piloto es:

$$P_{piloto} = 840\ N$$

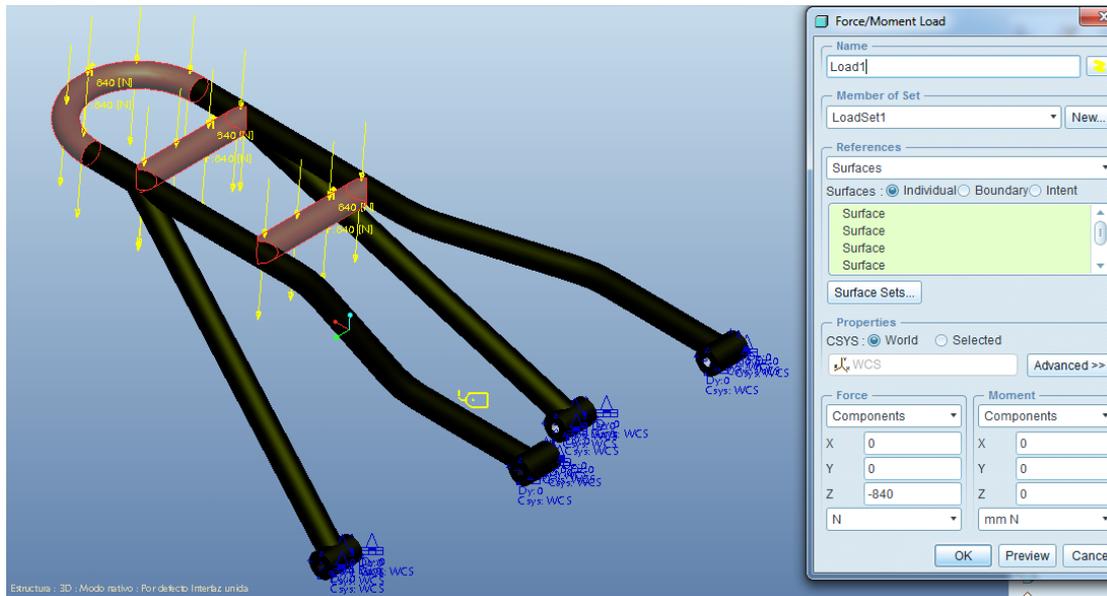


Ilustración 142: Solicitación de cargas aplicadas en el sub-chasis

7.1.3 Restricciones de movimiento

Para llevar a cabo la simulación se colocan restricciones en los puntos de unión entre el chasis y el sub-chasis.

Al igual en el estudio del chasis habrá dos tipos de restricciones:

En los puntos de contacto de los casquillos de sujeción con los ejes será una restricción Pin en todas ellas, es decir, permite la rotación en torno al eje al que va sujeto, pero restringe la translación en la coordenada X y Z, *ilustración 143*.

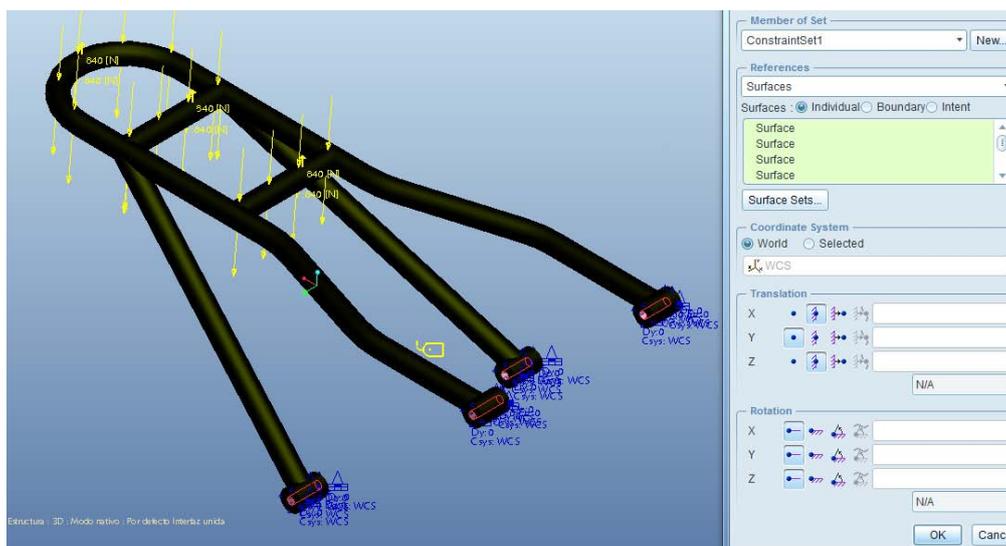


Ilustración 143: Restricciones transnacional (Eje X y Eje Z) aplicadas en el sub-chasis

En la zona plana de los casquillos será también una restricción tipo Pin, permite el giro en todas las coordenadas, pero restringe la translación en el eje Y para que no se desplace el chasis lateralmente, se observa esta restricción en el entorno Pro Engineer en la *ilustración 144*.

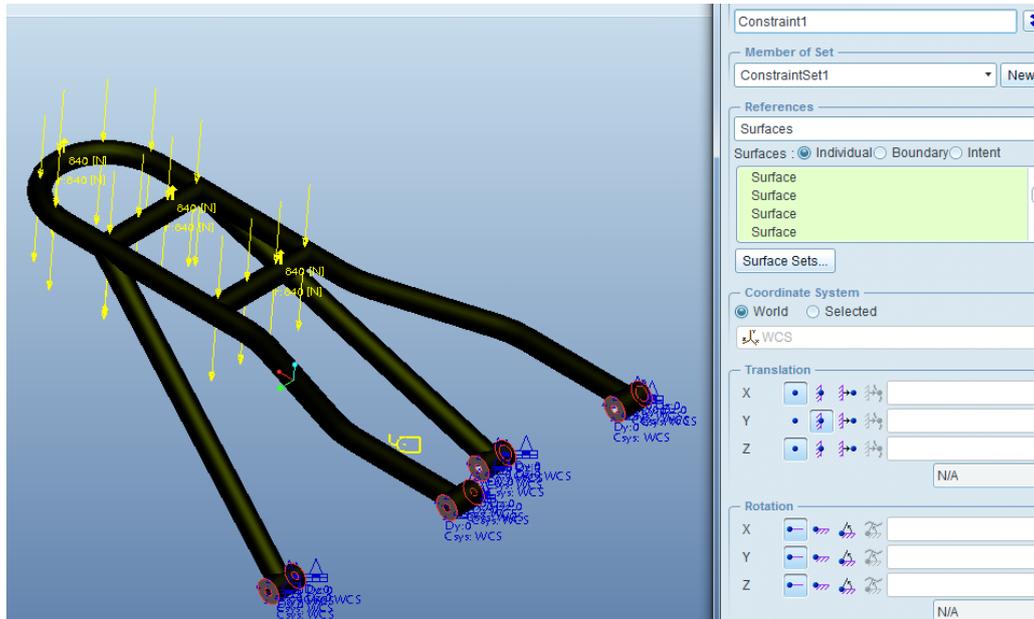


Ilustración 144: Restricciones laterales (Eje Y) aplicadas en el sub-chasis

7.1.4 Material [25]

El programa exige que se le asigne un material, se duda en un principio entre aluminio y acero. Dado que el chasis elegido finalmente para la MS2 es el doble cuna abierto y se propone su fabricación en aluminio 7075, el sub-chasis se diseñará para el mismo material. Se utiliza para la simulación el aluminio 2024 que integra el software como predeterminado y que tienen propiedades mecánicas muy parejas [22].

7.1.5 Mallado

El mallado automático que nos propone el programa es perfecto para esta simulación, ya que es una geometría sencilla.

7.1.6 Diseño del sub-chasis y cálculo MEF

El objetivo será hacer el sub-chasis más rígido posible, cualquier desplazamiento en el sub-chasis despista al piloto y le hace perder información sobre el comportamiento del conjunto. Por supuesto, no se descuida el peso, pero debido al material del que se dispone no se tendrá mucho margen de maniobra y el sub-chasis quedará ligeramente sobredimensionado. Éste sobredimensionamiento resulta favorable ya que al estar unido al chasis, consigue rigidizar a éste en su parte central, lo que origina cambios en los valores máximos de tensión y deformación del conjunto.

Con las solicitaciones y restricciones que se explicaron en los puntos anteriores, los resultados del cálculo de elementos finitos quedan determinados en la *ilustración 145* y *146*:

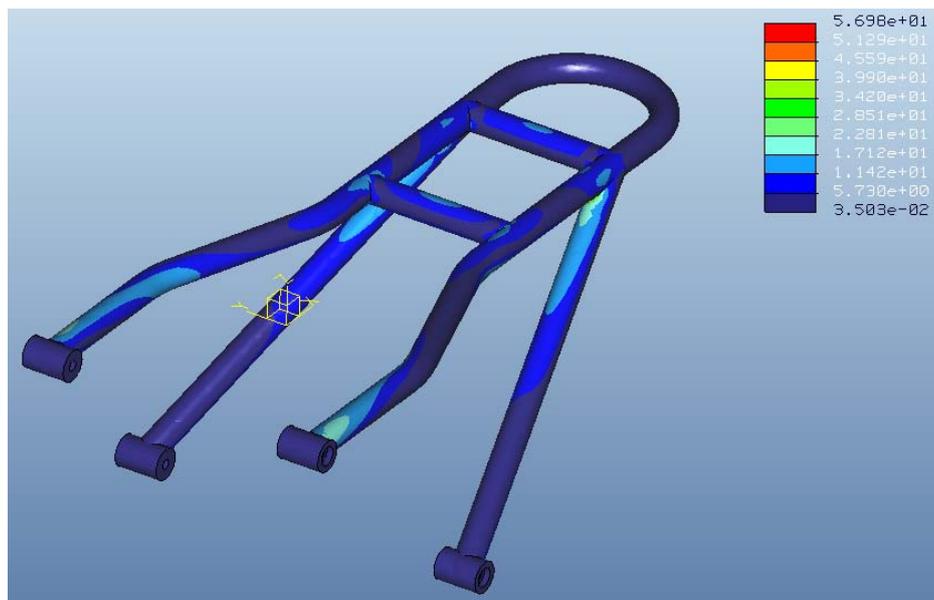


Ilustración 145: Von Mises sub-chasis

Con el aluminio 7075 se obtiene una seguridad estructural alta.

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{480}{57} = 8.42$$

Las deformaciones son prácticamente nulas como se ve en la siguiente ilustración:

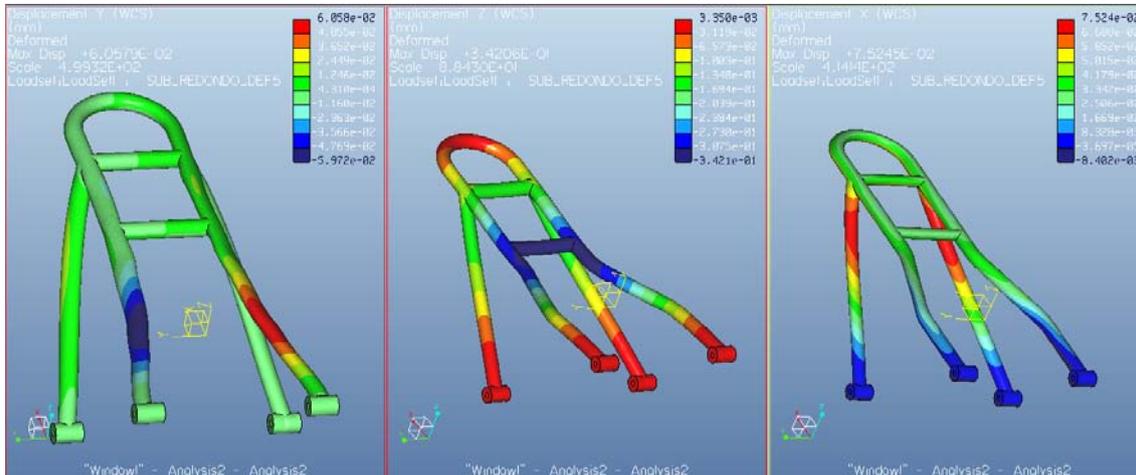


Ilustración 146: Deformaciones Y Z X sub-chasis

El objetivo marcado para el sub-chasis está conseguido, ya que como se estimó los tubos de aluminio 7075 quedan sobredimensionados, lo que nos garantiza la seguridad estructural y unos desplazamientos prácticamente nulos.



Datos del sub-chasis

VOLUMEN = 3.2403657e+05 MM³

ÁREA DE SUPERFICIE = 2.7998413e+05 MM²

DENSIDAD = 2.8000000e-06 KILOGRAMO / MM³

MASA = 9.0730240e-01 KILOGRAMO

CENTRO DE GRAVEDAD respecto al cuadro de coordenadas _SUB_REDONDO_DEF5_2_1:

X Y Z 1.3964592e+02 5.3788388e-01 -3.8251396e+01 MM

INERCIA con relación al cuadro de coordenadas _SUB_REDONDO_DEF5_2_1: (KILOGRAMO * MM²)

Tensor de Inercia:

I_{xx} I_{xy} I_{xz} 1.2669076e+04 2.1576732e+01 3.2663189e+03

I_{yx} I_{yy} I_{yz} 2.1576732e+01 4.6707357e+04 4.6426268e+01

I_{zx} I_{zy} I_{zz} 3.2663189e+03 4.6426268e+01 4.9733136e+04

INERCIA en el CENTRO DE GRAVEDAD con relación al cuadro de coordenadas _SUB_REDONDO_DEF5_2_1: (KILOGRAMO * MM²)

Tensor de Inercia:

I_{xx} I_{xy} I_{xz} 1.1341277e+04 8.9727197e+01 -1.5801741e+03

I_{yx} I_{yy} I_{yz} 8.9727197e+01 2.7686532e+04 2.7758694e+01

I_{zx} I_{zy} I_{zz} -1.5801741e+03 2.7758694e+01 3.2039586e+04

MOMENTOS PRINCIPALES DE INERCIA: (KILOGRAMO * MM²)

I₁ I₂ I₃ 1.1220827e+04 2.7686944e+04 3.2159624e+04

MATRIZ DE ROTACIÓN de la orientación _SUB_REDONDO_DEF5_2_1 a los EJES PRINCIPALES (en grados):

0.99712 0.00590 -0.07566

-0.00556 0.99997 0.00467

0.07569 -0.00424 0.99712

ÁNGULOS DE ROTACIÓN de la orientación _SUB_REDONDO_DEF5_2_1 a los EJES PRINCIPALES (en grados):

ángulos alrededor de x y z -0.268 -4.339 -0.339

RADIOS DE GIRO con relación a los EJES PRINCIPALES:

R₁ R₂ R₃ 1.1120810e+02 1.7468736e+02 1.8826927e+02 MM



7.2 Placa unión chasis – motor

7.2.1 Justificación de las condiciones de contorno para el estudio MEF

El estudio tratará de simular las condiciones a las que la placa se verá sometida en el circuito.

El estudio de la placa es más complejo que el resto, ya que hasta que no quede el conjunto finalizado no se sabrá el reparto de pesos de la motocicleta. Por tanto, para este estudio se estima un reparto de peso del 50% entre rueda delantera y trasera.

7.2.2 Las cargas

Se someterá a la placa a dos esfuerzos simultáneos, por un lado la mitad del peso de todo el conjunto y por otro lado a la fuerza que el amortiguador provoca sobre la placa al comprimirse.

El peso del conjunto, como se mencionó en puntos anteriores, es perpendicular al suelo y viene determinado por:

$$P_{conjunto} = (m_{moto} + m_{piloto}) \times g \text{ N/Kg}$$

$P_{conjunto}$: Peso del conjunto (N)

M_{moto} : masa de la motocicleta

m_{piloto} : masa del piloto Kg

g : fuerza gravitatoria 9,8 N / Kg

Al estimar el reparto de pesos en el 50% por rueda, la fuerza que aguantara la placa en su zona delantera será:

$$P = 1000 \text{ N}$$

La otra fuerza serán los 1000 N que restan del peso del conjunto y que transmite el amortiguador. La colocación del amortiguador prácticamente horizontal (paralela al suelo), hace que esta segunda carga se transmita en dicha dirección, *ilustración 147*.

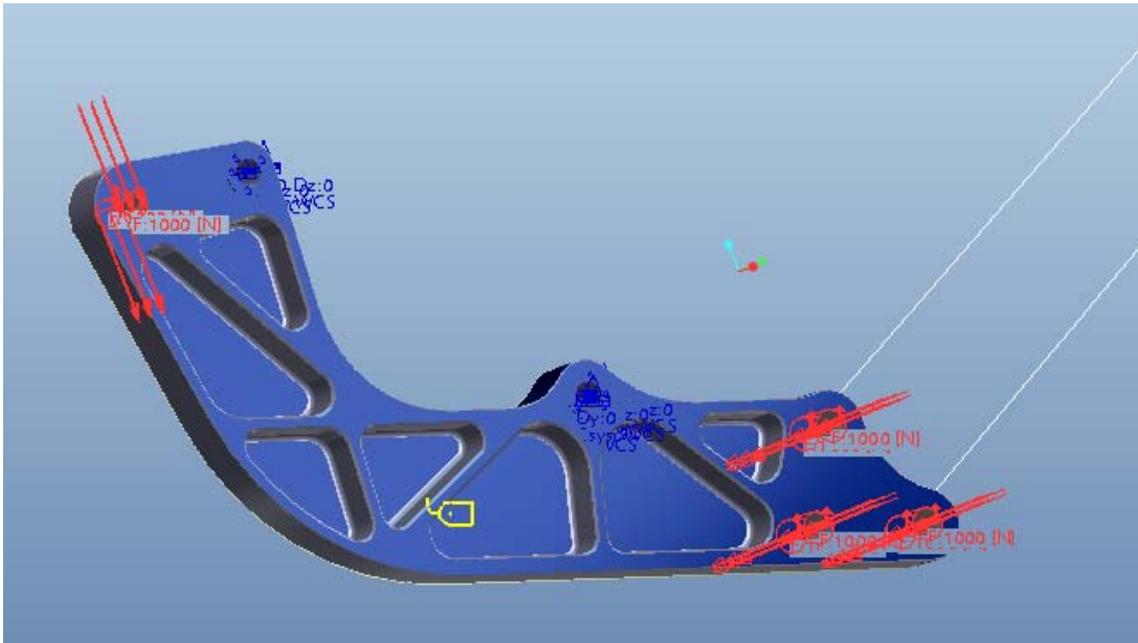


Ilustración 147: Solicitación de cargas aplicadas en la placa

Para una mayor comprensión del sistema de aplicación de las cargas, se muestra el conjunto completo, *ilustración 148*, con el fin de ver el movimiento del amortiguador y los esfuerzos que provoca sobre la placa.



Ilustración 148: Conjunto de la motocicleta

El basculante para el conjunto de la ilustración 148 ha sido el correspondiente a la referencia [3].

Al rotar el basculante sobre el eje que lo une al chasis y al motor, el amortiguador se comprimirá o extenderá, empujando o tirando de la placa respectivamente.

7.2.3 Restricciones de movimiento

La placa va fijada al motor en dos puntos. Como en el caso del chasis y el subchasis tendrá dos restricciones una en el eje y otra en la cara plana.

En los puntos de contacto de los orificios de la placa por donde atraviesa el eje de sujeción se aplicará una restricción Pin, *ilustración 149*, es decir, que permite la rotación en torno al eje al que va sujeto, pero restringe la translación en la coordenada X y Z.

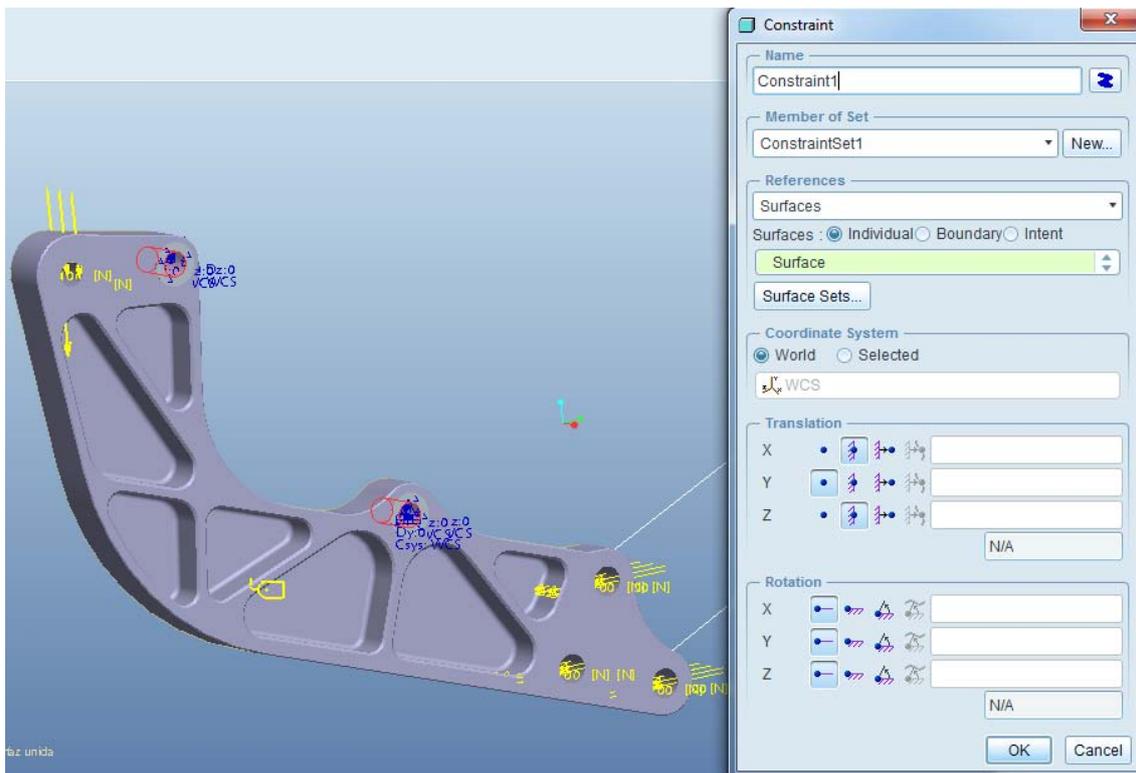


Ilustración 149: Restricciones transnacional (Eje X y Eje Z) aplicadas en el placa

En la zona plana de la placa será también una restricción tipo Pin, permite el giro en todas las coordenadas, pero restringe la translación en el eje Y para evitar que se desplace lateralmente, *ilustración 150*.

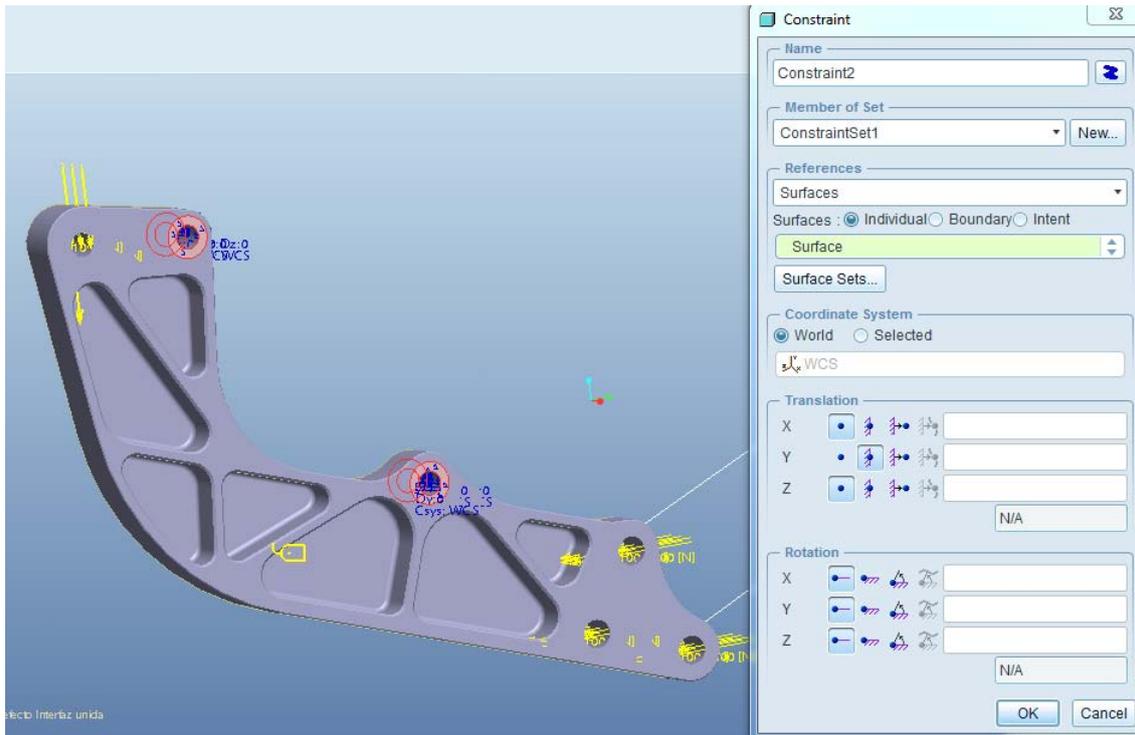


Ilustración 150: Restricciones laterales (Eje Y) aplicadas en la placa

7.2.4 Material [26]

El material de la placa quedó determinada desde un primer momento en aluminio 1050, *ilustración 151*, ya que tiene una densidad relativamente baja 2.7 g/cm^3 , lo que minimiza el aumento de peso del conjunto. La placa no tiene una finalidad estructural, solo está pensada para modificar la geometría de los puntos de interface entre motor y chasis.

AL-1050

Aleación de Aluminio puro 99,5%

PRODUCTOS: BARRAS, ALAMBRE, PERFILES EXTRUIDOS, TUBOS, CHAPAS, PLANCHAS, COSPELES, ETC.

Composición química:

Consultar tabla de composiciones químicas (páginas 16 y 17)

Propiedades mecánicas típicas (a temperatura ambiente de 20°C)

Estado	Espesor mm	Características a la tracción			Límite a la fatiga N/mm ²	Resistencia a la cizalladura N/mm ²	Dureza	
		Carga de rotura Rm N/mm ²	Límite elástico Rp 0,2 N/mm ²	Alargamiento A 5,65 %			Brinell (HB)	Vickers
F	3,2<e<150	65		20			20	
0-H111	0,35<e<12	65-90	20	42	50	60	21	20
H14	0,35<e<12	100-140	105	10	70	70	35	36
H24	0,35<e<6	100-140	105	10	70	70	35	36
H18	0,35<e<3,2	120-160	120	7			39	
H26	0,35<e<3,2	120-160	120	7			39	
H18	0,35<e<3,2	150	140	6	100	85	43	44

Características mecánicas de la aleación a diferentes temperaturas

Estado	-195°C			-90°C			-30°C			+26°C			+100°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65	Rm	Rp 0,2	A 5,65
0	170	41	50	105	38	43	90	34	40	90	34	40	70	32	45
H14	205	140	45	140	125	24	130	115	20	125	115	20	110	105	20
H18	235	180	30	180	160	16	170	160	15	165	150	15	145	130	15

Estado	+150°C			+205°C			+260°C			+315°C			+370°C		
	Rm	Rp 0,2	A 5,65												
0	55	29	55	41	24	65	28	18	75	20	14	60	14	11	65
H14	95	85	23	70	50	26	28	18	75	20	14	60	14	11	65
H18	125	95	20	41	24	65	28	18	75	20	14	60	14	11	65

Ilustración 151: Tabla de propiedades mecánicas AL-1050 (www.sanmetal.es [26])

7.2.5 Mallado

El mallado automático que nos propone el programa es perfecto para esta simulación, ya que la geometría no tiene ningún punto singular.

7.2.6 Diseño de la placa y Cálculo MEF

La idea principal era hacer una placa robusta que permita mover los puntos de interface del motor con el chasis a nuestro antojo y no depender de la geometría del motor.

Con estas condiciones de contorno se obtiene:

Una tensión de 65MPa, que permite una seguridad estructural alta con un coeficiente de seguridad:

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{120}{65} = 1.85$$

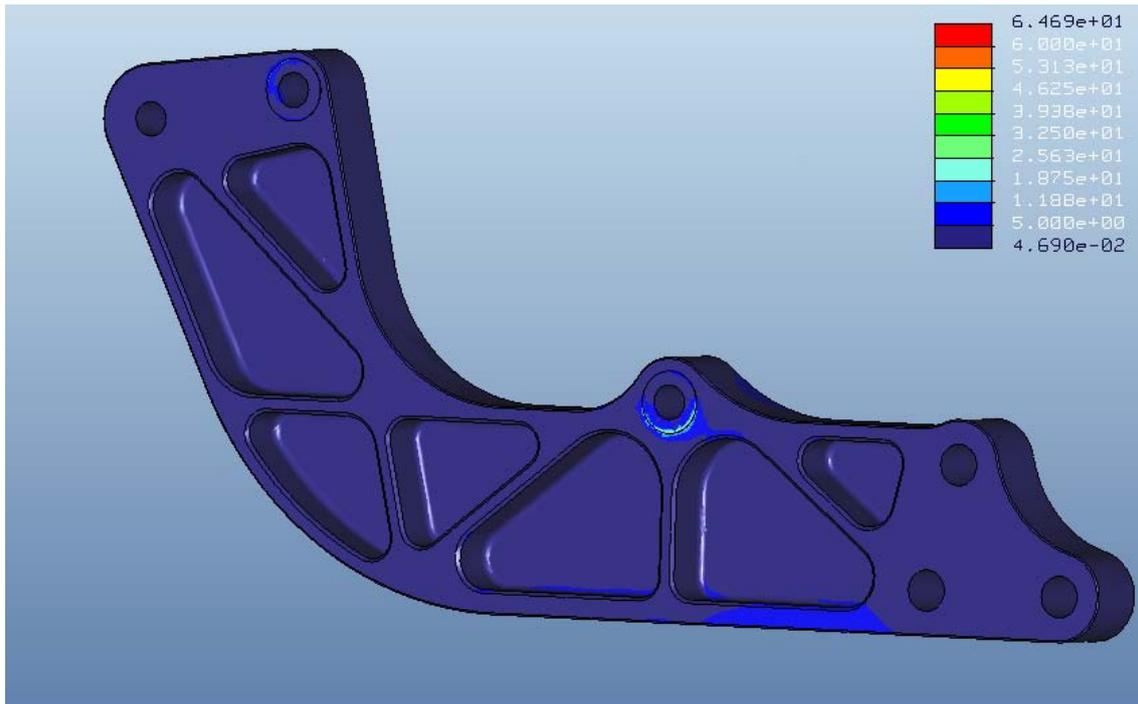


Ilustración 152: Von Mises placa

Las deformaciones son prácticamente nulas por lo que no interferirá en el comportamiento del chasis ni de la suspensión, *ilustración 153*.

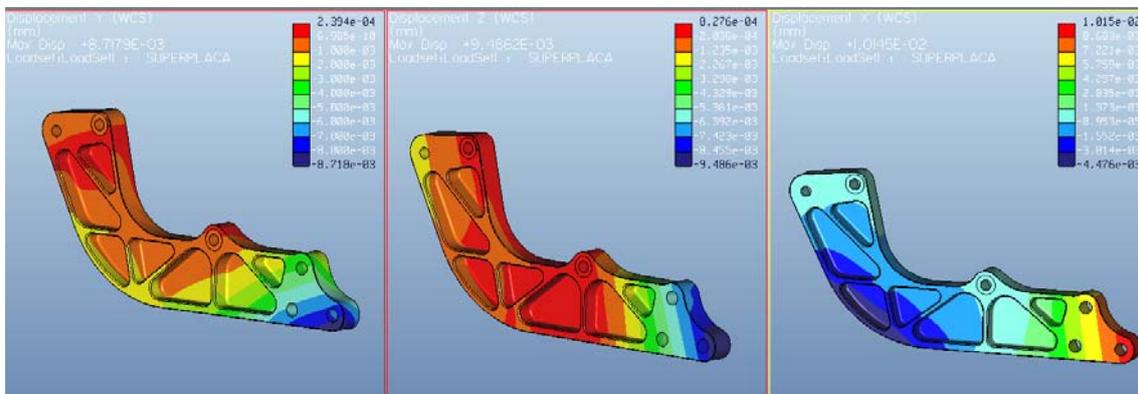


Ilustración 153: Deformaciones Y Z X placa



Después de rebajar la placa se consiguen estos datos:

Datos de la Placa

VOLUMEN = 2.8017549e+05 MM³

ÁREA DE SUPERFICIE = 8.0196606e+04 MM²

DENSIDAD = 2.8000000e-06 KILOGRAMO / MM³

MASA = 7.8449137e-01 KILOGRAMO

CENTRO DE GRAVEDAD respecto al cuadro de coordenadas _SUPERPLACA:

X Y Z 6.3510329e+01 -5.8836609e+02 -6.5476494e+02 MM

INERCIA con relación al cuadro de coordenadas _SUPERPLACA: (KILOGRAMO * MM²)

TENSOR DE INERCIA:

Ixx Ixy Ixz 6.1684830e+05 2.9288138e+04 3.2622305e+04

Iyx Iyy Iyz 2.9288138e+04 3.4306525e+05 -2.9858107e+05

Izx Izy Izz 3.2622305e+04 -2.9858107e+05 2.8016782e+05

INERCIA en el CENTRO DE GRAVEDAD con relación al cuadro de coordenadas

_SUPERPLACA: (KILOGRAMO * MM²)

TENSOR DE INERCIA:

Ixx Ixy Ixz 8.9523868e+03 -2.6205153e+01 -2.4864947e-01

Iyx Iyy Iyz -2.6205153e+01 3.5760731e+03 3.6375539e+03

Izx Izy Izz -2.4864947e-01 3.6375539e+03 5.4324904e+03

MOMENTOS PRINCIPALES DE INERCIA: (KILOGRAMO * MM²)

I1 I2 I3 7.5011664e+02 8.2580141e+03 8.9528196e+03

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

0.00250 0.02343 0.99972

0.78970 0.61327 -0.01635

-0.61349 0.78952 -0.01696

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

ángulos alrededor de x y z 136.058 88.650 -83.898

RADIOS DE GIRO con relación a los EJES PRINCIPALES:

R1 R2 R3 3.0922195e+01 1.0259914e+02 1.0682818e+02 MM



7.3 Rodamientos

Para absorber las irregularidades del terreno o para obtener un mejor comportamiento dinámico, es imprescindible un buen funcionamiento del amortiguador trasero. Para que éste pueda trabajar correctamente, debe poder recibir los esfuerzos que le transmita el basculante. El basculante va unido al chasis por un eje, lo que impide la translación entre ellos, pero debe permitir el giro. Para que el giro se produzca con el menor rozamiento se acoplan los rodamientos.

Los rodamientos que se alojan en el chasis y el basculante permiten el giro e impiden el desplazamiento lateral.

Para la elección de los rodamientos se tuvo en cuenta que el chasis y el basculante no soportarán cargas axiales, por tanto los rodamientos a elegir deben aguantar cargas radiales.

Se eligen rodamientos de agujas que siendo muy compactos aguantan grandes cargas radiales, por dicho motivo todas las motos comerciales usan este tipo de rodamiento.

Según esta premisa se busca en el catálogo del fabricante el rodamiento de agujas que más se aproxime a lo que se necesita.

En la propia web de SKF, *ilustración 154*, empresa que nos suministrará los rodamientos, puedes seleccionar el rodamiento que necesitas en función de la carga máxima, diámetro interior y exterior, velocidad...

Rodamientos de agujas, casquillos de agujas

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

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

Ilustración 154: Catálogo SKF

En nuestro caso, se estimó entre el departamento de basculante y de chasis seleccionar el rodamiento de 32mm de diámetro exterior y eje central 25mm. Este rodamiento soporta una carga de 5500N. Nuestra necesidad de velocidad de giro es mínima, por tanto se escoge la opción HK2520-2RS.

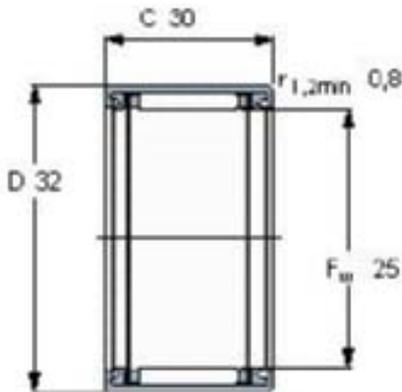


Ilustración 155: Características de corona de agujas HK2520-2RS

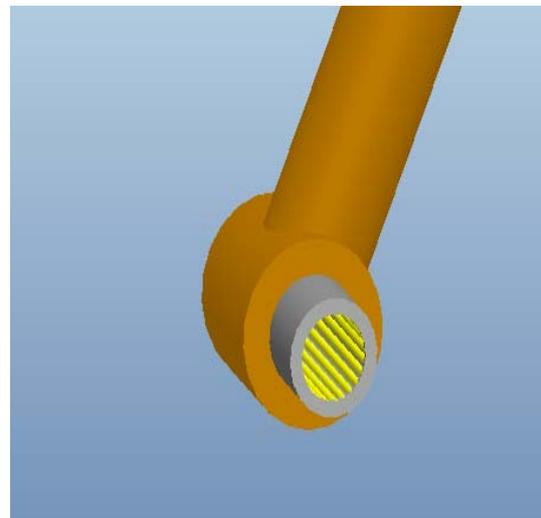


Ilustración 156: Simulación en Pro Engineer de la corona de agujas integrada en el chasis

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

8. ANALISIS DEL CONJUNTO

En este tema, se procederá a realizar los cálculos que hice en el tema 6, pero con el chasis unido al sub-chasis, así poder comprobar cómo trabajan conjuntamente.

8.1 Análisis Mixto

La justificación de los cálculos es la misma que se aplicó a las dos partes del conjunto de manera individual y que puede consultarse en *los apartados 5.8 y 7.1*. La restricción de movimiento que se aplicaba en el sub-chasis ahora se hace por medio de una unión fija al chasis.

La disposición de las cargas y las restricciones quedan de manifiesto en la *ilustración 157*:

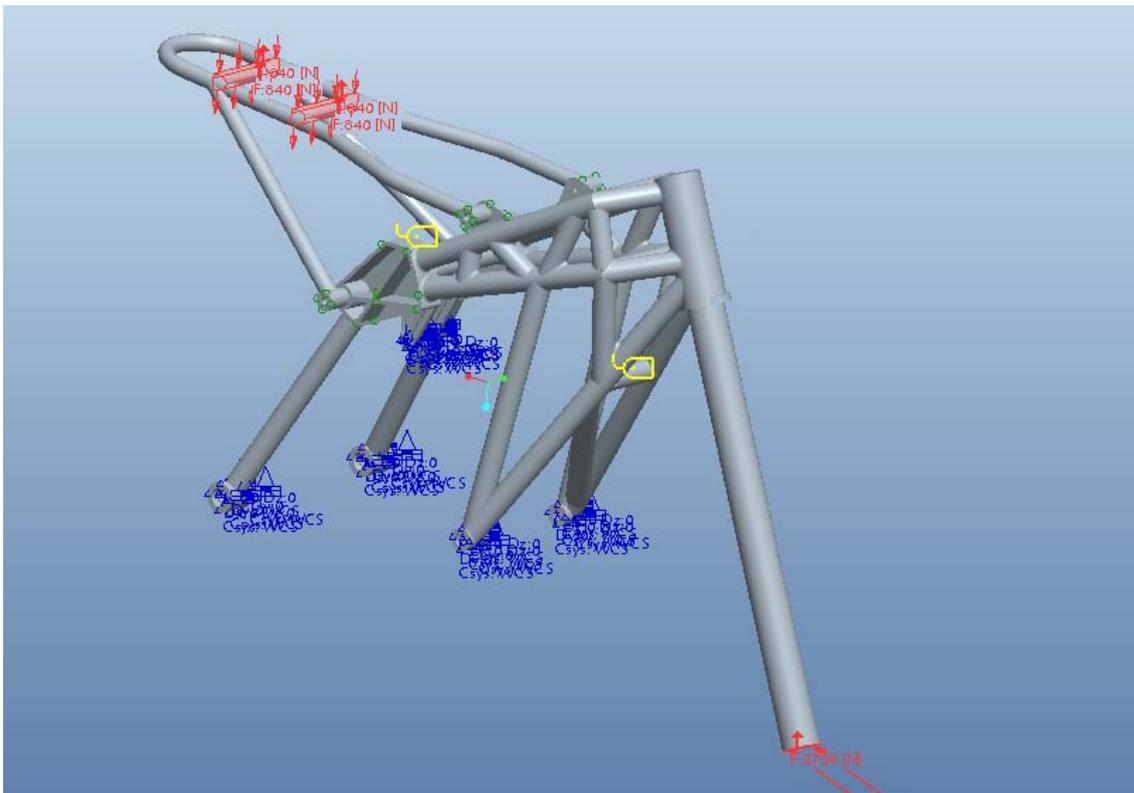


Ilustración 157: Solicitación Mixta en el conjunto

La tensión se reduce ya que las cargas que se aplican en el sub-chasis y en el bastidor se contrarrestan, *ilustración 158*. Además el sub-chasis, que es muy rígido influye como parte estructural, reduciendo las deformaciones máximas, *ilustración 159*.

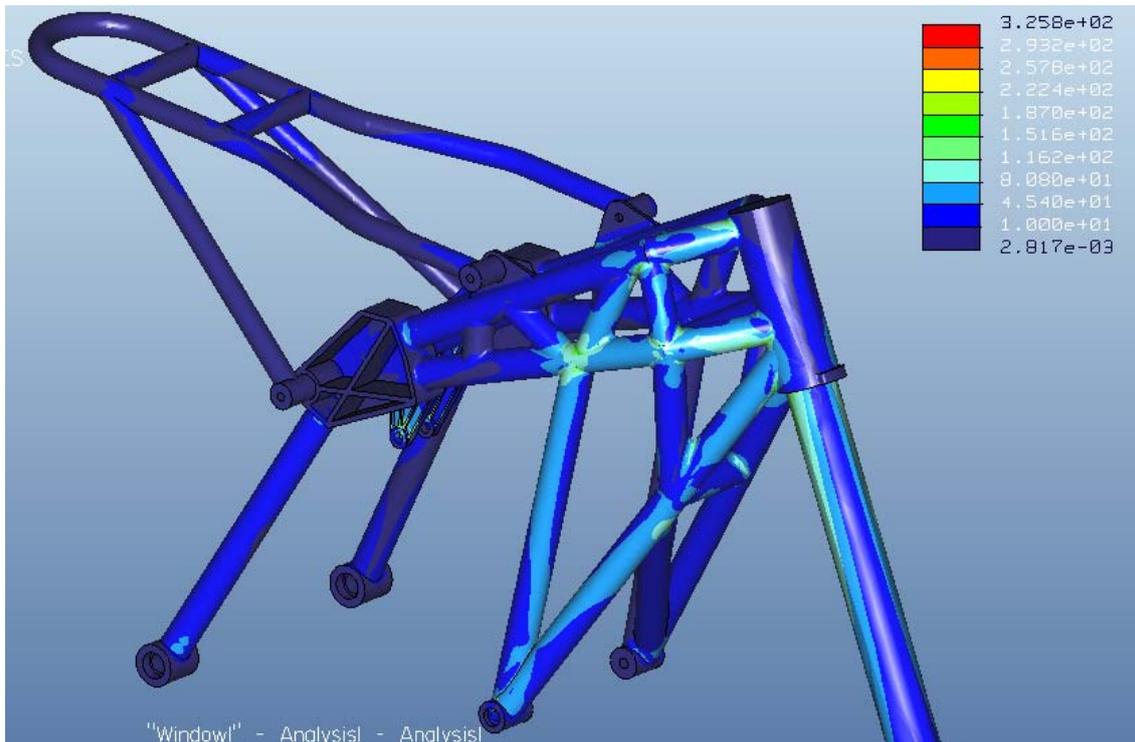


Ilustración 158: Von Mises en sollicitación Mixta del conjunto

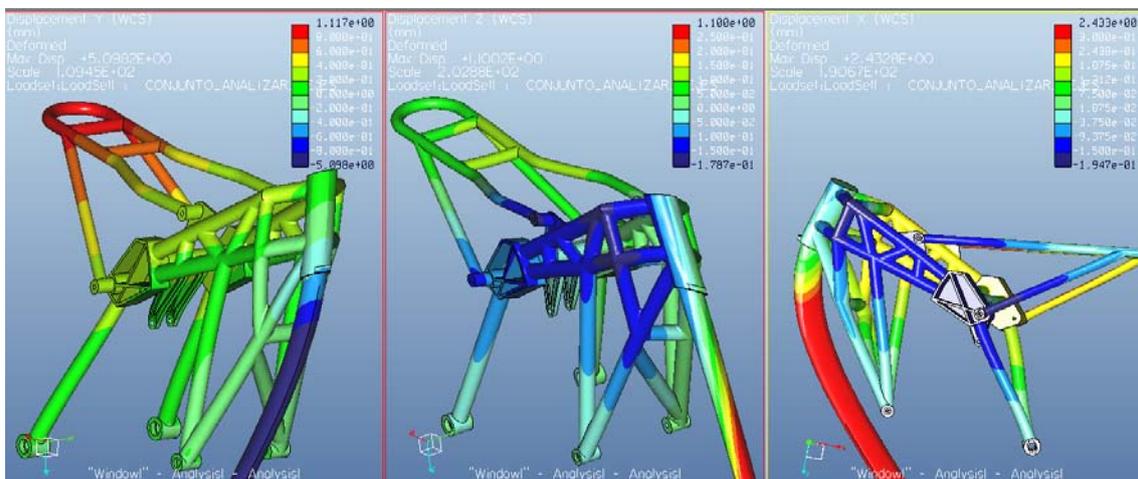


Ilustración 159: Deformaciones Y Z X en sollicitación Mixta del conjunto

El coeficiente de seguridad queda con un valor de:

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{480}{325} = 1.48$$



Las deformaciones son más positivas que cuando realice el análisis del chasis individualmente, y se han conseguido igualar prácticamente a las del chasis autoportante, excepto la deformación en el eje Y, provocada por la torsión de la pipa de dirección.

Deformaciones (mm)	Y	Z	X
	5.098	1.100	2.433

Ilustración 160: Tabla de deformaciones

8.2 Análisis Frenada

La justificación de los cálculos es la misma que se aplicaron a las dos partes del conjunto de manera individual y que puede consultarse en *los apartados 5.8 y 7.1*. La restricción de movimiento que se aplicaba en el sub-chasis ahora se hace por medio de una unión fija al chasis, *ilustración161*.

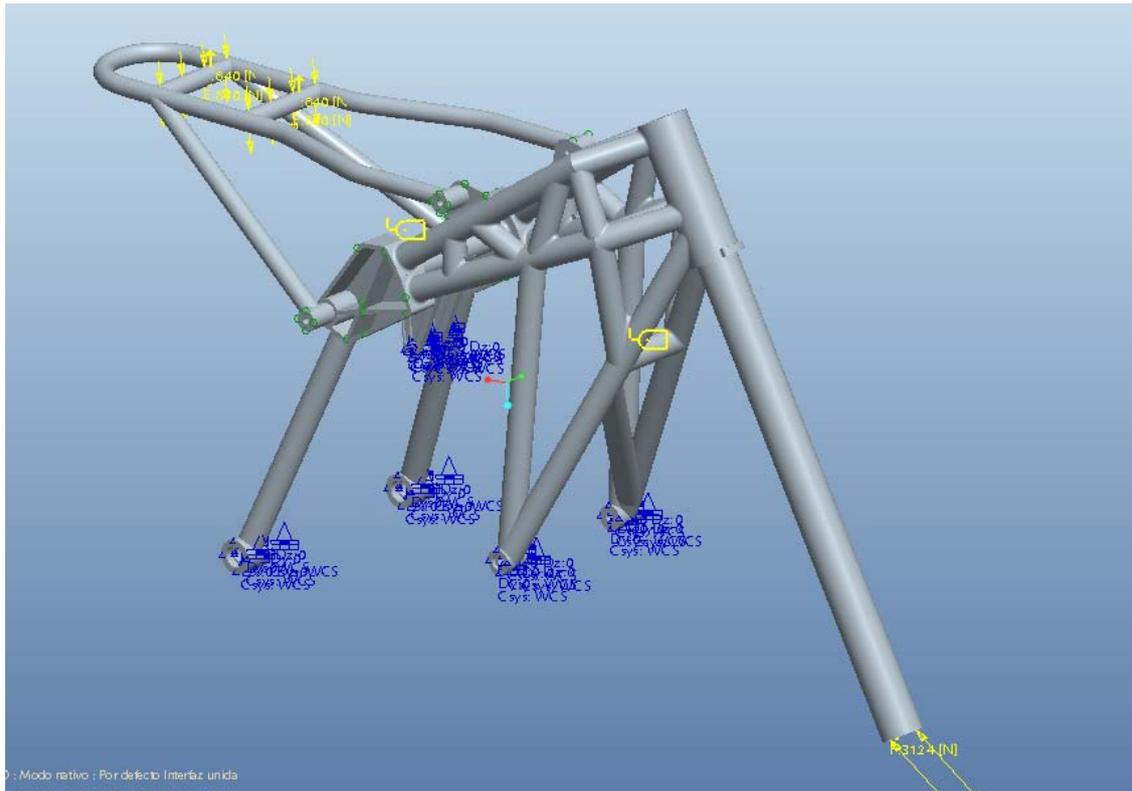


Ilustración 161: Solicitación Frenada en el conjunto

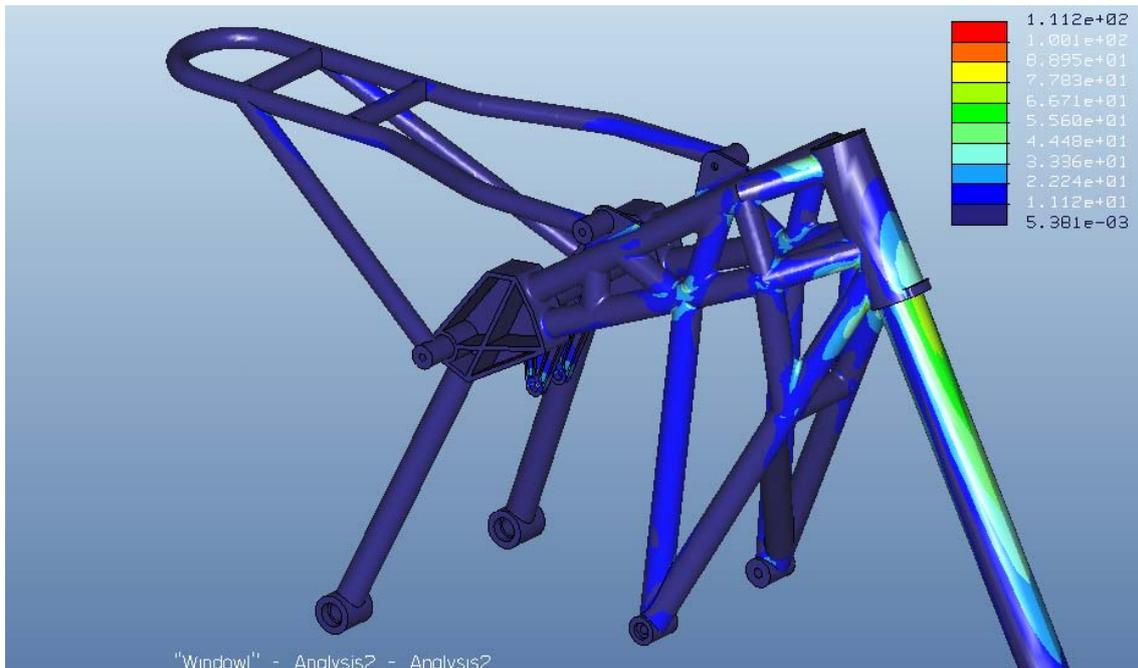


Ilustración 162: Von Mises en sollicitación en Frenada del conjunto

La tensión, *ilustración 162*, queda reducida a un tercio de los resultados obtenidos anteriormente en la sollicitación mixta, esto nos da mayor seguridad estructural, ya que será mayoritariamente al esfuerzo al que se verá sometido en la competición. Recordar que los pilotos participantes en la competición no son profesionales asique frenaran con la moto prácticamente vertical y sin alcanzar la fuerza de frenada a la que he sometido al chasis en este estudio.

Por tanto, al quedar reducida la tensión el coeficiente de seguridad se ve multiplicado:

El coeficiente de seguridad queda con un valor de:

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{480}{112} = 4.29$$

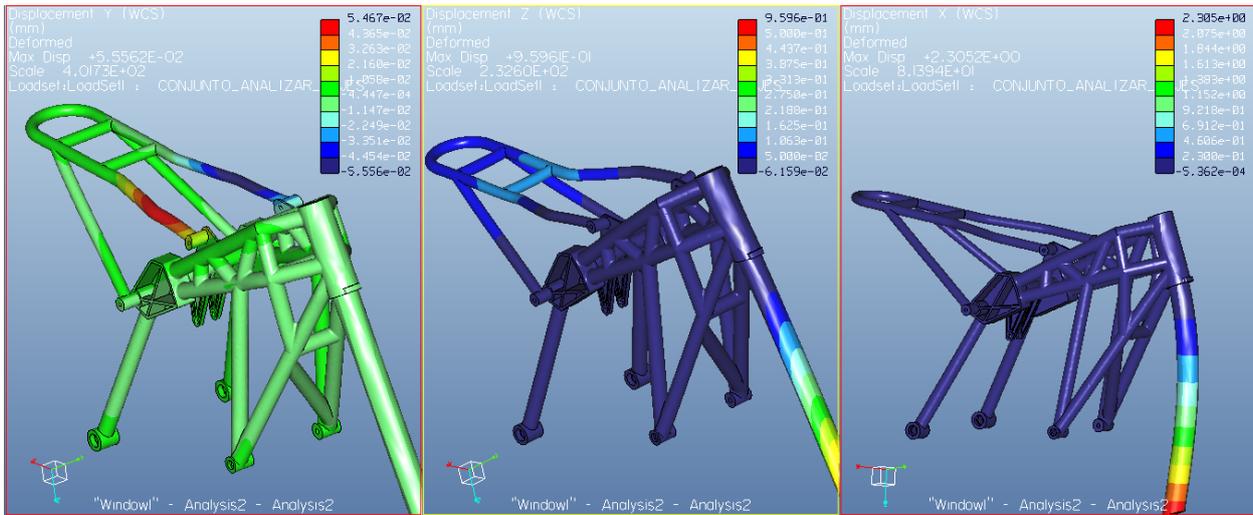


Ilustración 163: Deformaciones Y Z X en sollicitación en Frenada del conjunto

Los resultados de las deformaciones, reflejados en la *ilustración 163* nos hacen predecir que el chasis tendrá un comportamiento excelente en frenada. La rigidez longitudinal del chasis conseguirá mantener el conjunto unido, dejando la horquilla delantera como único elemento deformable como se pudo observar en los desplazamientos en X.

Deformaciones (mm)	Y	z	x
	5.556 e-2	9.596 e-1	2.305

Ilustración 164: Tabla de deformaciones

8.3 Análisis Paso por Curva

La justificación de los cálculos es la misma que se aplicaron a las dos partes del conjunto de manera individual y que puede consultarse en *los apartados 5.8 y 7.1*. La restricción de movimiento que se aplicaba en el sub-chasis ahora se hace por medio de una unión fija al chasis, *ilustración 165*.

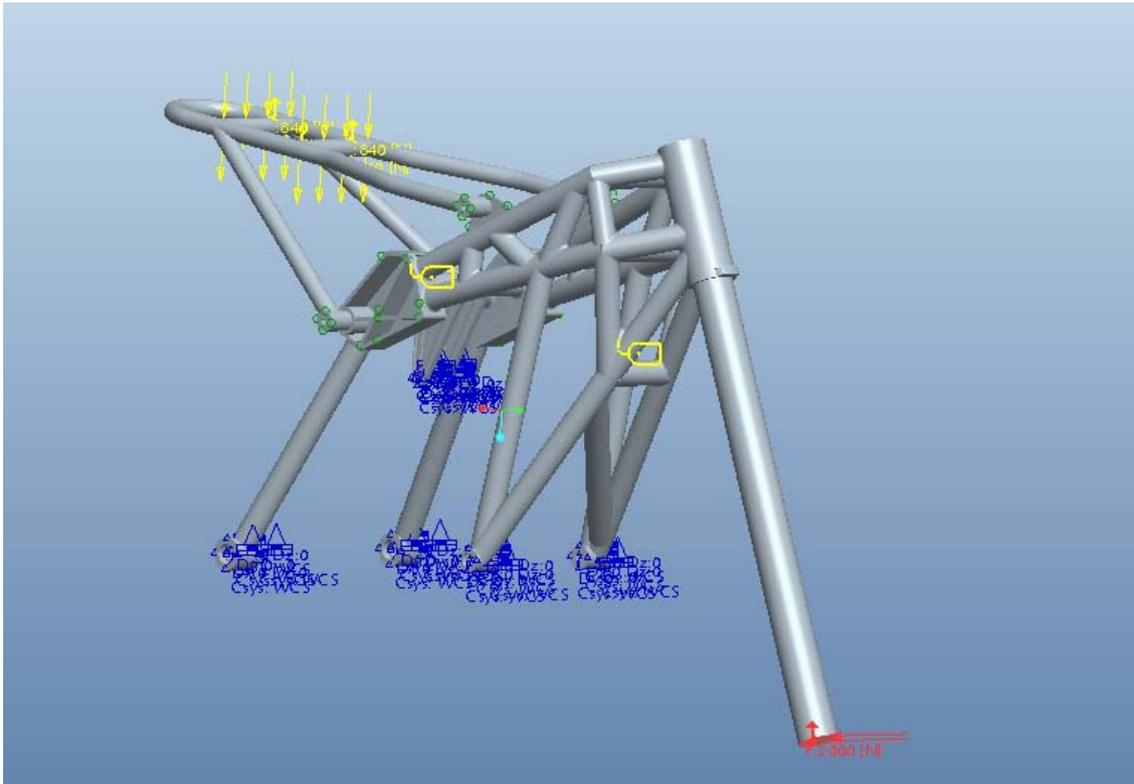


Ilustración 165: Solicitación en Curva en el conjunto

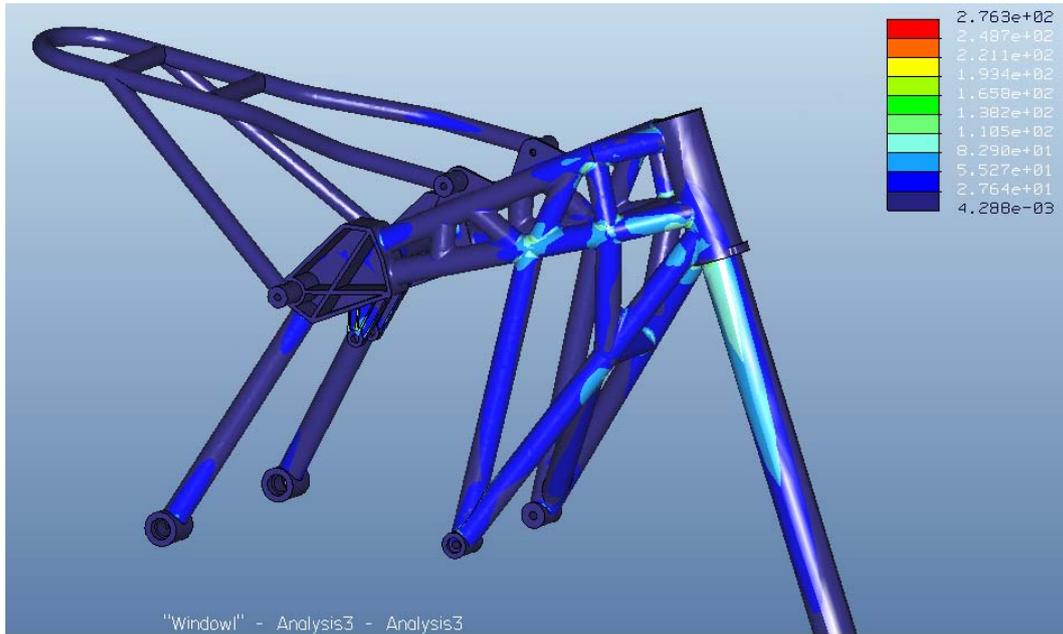


Ilustración 166: Von Mises en sollicitación en Curva del conjunto

La tensión, *ilustración 166*, esta dentro del intervalo que nos garantiza la funcionalidad del conjunto durante un periodo mayor a la propia carrera.

El coeficiente de seguridad queda con un valor de:

$$CS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma_{max}} = \frac{480}{276} = 1.74$$

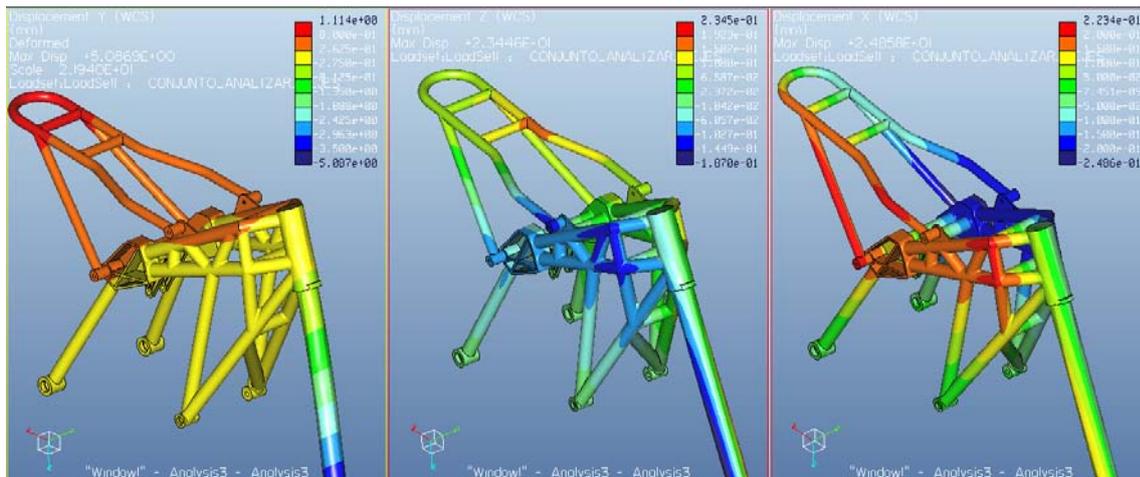


Ilustración 167: Deformaciones Y Z X en sollicitación en Curva del conjunto

Deformaciones (mm)	Y	z	x
	5.087	2.345 e-1	2.486e-1

Ilustración 168: Tabla de deformaciones



9. CONCLUSIONES

El proyecto profundiza en el mundo de las motocicletas desde un punto de vista técnico, desarrollando cuales son las cualidades prácticas y reales que se buscan en un bastidor de competición. Lo difícil que puede ser optimizar cualquier componente cuando estas restringido por una reglamentación y además trabajas en un equipo con diferentes departamentos, que deben compaginarse y trabajar en armonía como uno solo.

En este proyecto se consigue cumplir el objetivo principal, que es una propuesta de diseño de un chasis y un sub-chasis viable para una motocicleta de carreras, según las especificaciones requeridas en la competición MotoStudent 2012.

La propuesta de diseño (*véase 5.5*) de los chasis desarrollados está basado en una metodología personal, en el que se sugieren una serie de factores que se consideran los más apropiados para las especificaciones que requiere el conjunto de una motocicleta.

Se proponen varios diseños de chasis, analizando todos ellos ante una sollicitación mixta de esfuerzos que simulan la entrada en curva antes de soltar la leva del freno delantero, obteniendo las tensiones y los desplazamientos máximos.

Con el chasis definitivo se realiza un segundo estudio más preciso y que analiza el comportamiento del chasis en frenada y en el paso por curva por separado.

Condicionado por el material suministrado por los patrocinadores, finalmente se escoge para el chasis auto-portante un diseño que emplee tubos de acero 525 suministrados por Reynolds con una tensión admisible de 750 MPa. Los tubos tienen un espesor de 1,2 mm y con diámetros de 25,4 y 22,2 mm.

Para el chasis doble cuna abierta se plantea para su construcción el aluminio 7075, suministrados por la empresa Lumetal, con un límite elástico 450 - 470MPa, por esta razón se ha detenido la evolución del chasis definitivo cuando se ha conseguido que el bastidor esté sometido a una tensión máxima menor de 400MPa, exactamente como se refleja en el capítulo 6, el chasis soporta una tensión máxima de 360MPa, con sollicitación mixta. Los tubos tienen un espesor de 2 mm y con diámetros de 25 y 22 mm.



El sub-chasis tiene una rigidez muy alta, obteniendo unos desplazamientos nulos, lo que transfiere seguridad al piloto y un mayor entendimiento de la deformación del chasis y el comportamiento del conjunto. El material empleado es el mismo que en el chasis, ya que se dispone solo de un suministrador de tubos y por razones puramente económicas no se dispone de tubos con otras secciones o diámetros.

La placa de sujeción que envuelve al motor permite anclar el chasis de la forma y posición deseada, además reduce la tensión que el motor debe aguantar al ser parte estructural del conjunto. Está diseñada en aluminio y para ser fabricada en una maquina de CNC. Tiene un peso reducido para no aumentar la inercia del conjunto.



10. TRABAJOS FUTUROS

El trabajo de diseño y cálculo del bastidor, y su integración en una motocicleta de competición es extenso, y aunque en este trabajo se abordan muchos de los aspectos a valorar, creo que debe tener continuidad en otros proyectos futuros, y que partiendo del trabajo que aquí se ha expuesto, permita una evolución que considero necesaria para obtener un conjunto más competitivo y mejorar a lo que se he llegado en este trabajo.

En mi opinión, los pasos que se deberían seguir para continuar con la evolución o mejora de este proyecto englobaría los siguientes puntos:

- Optimizar el modelo rediseñando las partes sobredimensionadas, modificando las barras que se encuentran menos cargadas, por otras de menor sección. De esta manera reducir el peso del conjunto.
- Realizar un estudio mediante galgas extensométricas de la carga que transmite el basculante al chasis y realizar el estudio torsional.
- Hacer un análisis térmico del chasis y de la placa de sujeción. El motor está en contacto con la placa y prácticamente en contacto con el chasis, por lo que interfiere en el comportamiento del material. De esta manera, se conseguiría afinar más los resultados.
- Estudiar a fatiga el bastidor. Esto es un prototipo que tendrá pocas horas de uso pero, si en un futuro se comercializase o se participara en una prueba de mayor duración, sería un estudio imprescindible para poder garantizar la vida del conjunto.
- Estudiar el diseño de un sub-chasis en fibra de carbono, actualmente usado prácticamente en todas las motos de competición.
- Análisis dinámico del conjunto de la motocicleta.

Fuera de este proyecto, con la experiencia obtenida en la realización de este chasis se propone en el Departamento de Mecánica la realización de una moto eléctrica con un motor impulsado por volantes de inercia. Sin este proyecto previo de la MS2, no se tendría los conocimientos básicos y necesarios para volcarnos en el proyecto.



11. PRESUPUESTO

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

El desglose de costes se ha dividido en cuatro grupos:

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

La estimación de tiempo para la elaboración del proyecto es:

- Tiempo de desarrollo del proyecto: 6 meses
- Horas trabajadas/día: 1.3 horas
- Horas trabajadas/semana: 9.1 horas

Total horas empleadas en el proyecto: 220 horas



1.- Autor
Raúl Dorado García
2.- Departamento:
Ingeniería Mecánica
3.- Descripción del Proyecto:
- Título: Pre-diseño, cálculo y evolución del chasis de una motocicleta de competición
- Duración: 6 meses
-Costes indirectos: 20%
4.- Presupuesto total del Proyecto:
17.175,00 €



5.- Desglose presupuestario					
PERSONAL					
Nombre y apellidos	Tarea	Categoría	Dedicación (h)	Coste (€/h)	Coste (€)
Raúl Dorado García	Modelado y simulación	Ingeniero Técnico Industrial:	170	65,00	11.050,00
	Documentación y redacción de la Memoria	Especialidad Mecánica	50	30,00	1.500,00
Supervisor	Supervisión	Ing. Superior	20,00	80,00	1.600,00
					TOTAL 14.150,00
RECURSOS INFORMÁTICOS					
Descripción	Coste (€)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo depreciación	Coste imputable (€)
Ordenador personal Intel i3	600,00	50	6	12	150,00
Licencia ProEngineer	5.400,00	80	5	12	1.800,00
Paquete Office 2012	600,00	70	5	12	175,00
					TOTAL 2.125,00
6.- Resumen de costes (€)					
Personal			14.150,00		
Recursos informáticos			2.125,00		
Subcontratación de tareas			0		
Costes de funcionamiento			0		
Costes indirectos			900		
Total			17.175,00		

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de DIECISIETE MIL CIENTO SETENTA Y CINCO EUROS.

Leganés, a 27 de Febrero de 2013

El ingeniero proyectista

Fdo.: Raúl Dorado García



12. BIBLOGRAFÍA

- [1] “Motorcycle handling and chassis design: the art and science”. Ed: Tony Foale. Second edition. March 2006.
- [2] Arias-Paz Guitian, Manuel: Motocicletas. Madrid: Ed: Dossat. 32ª edición. Año 2003.
- [3] Aarón Collantes Gil. Proyecto Fin de Carrera: “Pre-diseño de basculantes y selección para la suspensión de una motocicleta de competición” Universidad Carlos III de Madrid. Año 2012.
- [4] Ernesto Limousin Aranzabal. Proyecto Fin de Carrera: “Diseño y cálculo estructural del chasis de una motocicleta de competición” Universidad Politécnica de Navarra. Año 2010.
- [5] Miguel Velázquez Kennedy. Trabajo Fin de Grado: “Propuesta de un basculante y sistema de suspensión para una moto de competición”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2012.
- [6] Yolanda Colás Escandón. Proyecto Fin de Carrera: “Prototipo de chasis para MotoStudent. Diseño y estudio”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2009.
- [7] Sara Álvarez García. Proyecto Fin de Carrera: “Diseño de un basculante e integración del mismo en una motocicleta de competición”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2012.
- [8] Tania Folguera. Trabajo dirigido: “Modelado en Pro-e”. Universidad Carlos III de Madrid. Año 2011.
- [9] Yamaha España S.L. Manual de taller Yamaha YZF R125. Año 2011.

Referencias web

- [10] <http://www.motostudent.com/> (último acceso 01/06/2012).
- [11] <http://tresruedas.wordpress.com/2012/03/28/como-son-la-suter-moto2-y-la-kalex-ktm-moto3/> (último acceso 10/02/2013).

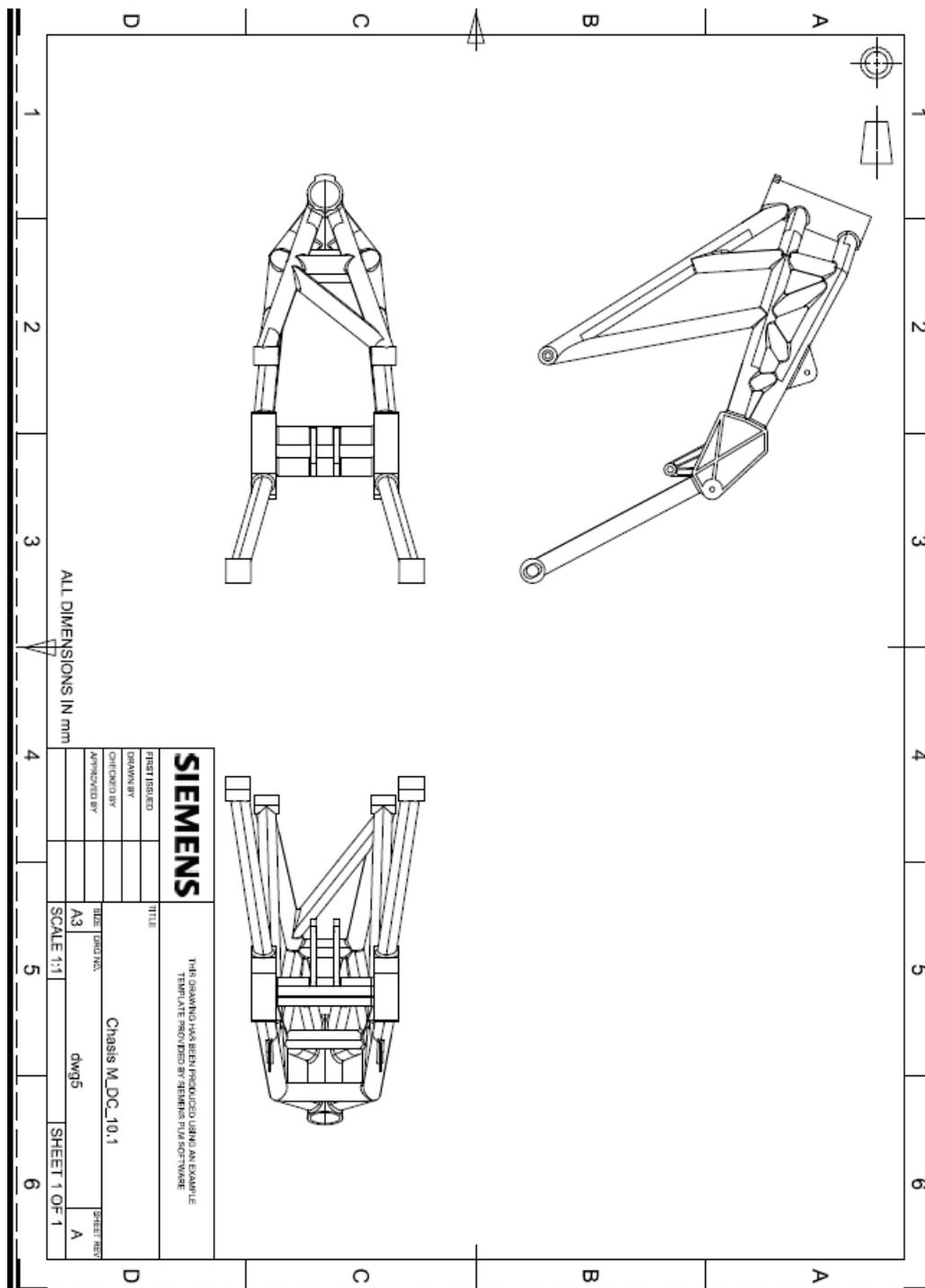


- [12] <http://www.bottpower.com/?p=92> (último acceso 01/02/2012).
- [13] <http://www.motociclismo.es/noticias/novedades/articulo/ktm-pone-a-la-venta-su-moto3-carreras-cliente> (último acceso 20/12/2012).
- [14] www.motogp.com/es (último acceso 28/02/2013).
- [15] www.motorcyclistonline.com/ (último acceso 28/02/2013).
- [16] <http://blog.derestricted.com/racing/ktm-rc-250-r-production-racer/> (último acceso 20/12/2012).
- [17] <http://blog.derestricted.com/racing/ktm-moto3-bike-derestricted-photos/> (último acceso 22/02/2013).
- [18] honda-montesa.es/competicion/Next_Racing_Standard_250.php#esp (último acceso 22/02/2013).
- [19] <http://www.britten.co.nz/> (último acceso 15/07/2016).
- [20] <http://gpone.com/albertocani/2013/02/12/tecnica-la-sinuosa-m1-e-laspigolosa-honda-cosi-uguali-cosi-diverse/> (último acceso 12/02/2013).
- [21] <http://reynoldstechnology.biz> (último acceso 20/02/2013).
- [22] http://www.lumetalplastic.com/dural_carac_mec.html (último acceso 15/02/2013).
- [23] <http://www.alu-stock.es/catalogo/pdf/libro/Alu-Stock-LA4-11-Aleaciones.pdf> (último acceso 15/02/2013).
- [24] <http://www.delmetal.com.ar/productos/aluminio/7075.pdf> (último acceso 15/02/2013).
- [25] <http://www.sanmetal.es/administrador/userfiles/file/Aluminios/Aluminio%20-%207075.pdf> (último acceso 15/02/2013).
- [26] <http://www.sanmetal.es/administrador/userfiles/file/Aluminios/Aluminio%20-%201050.pdf> (último acceso 16/02/2013).

ANEXOS

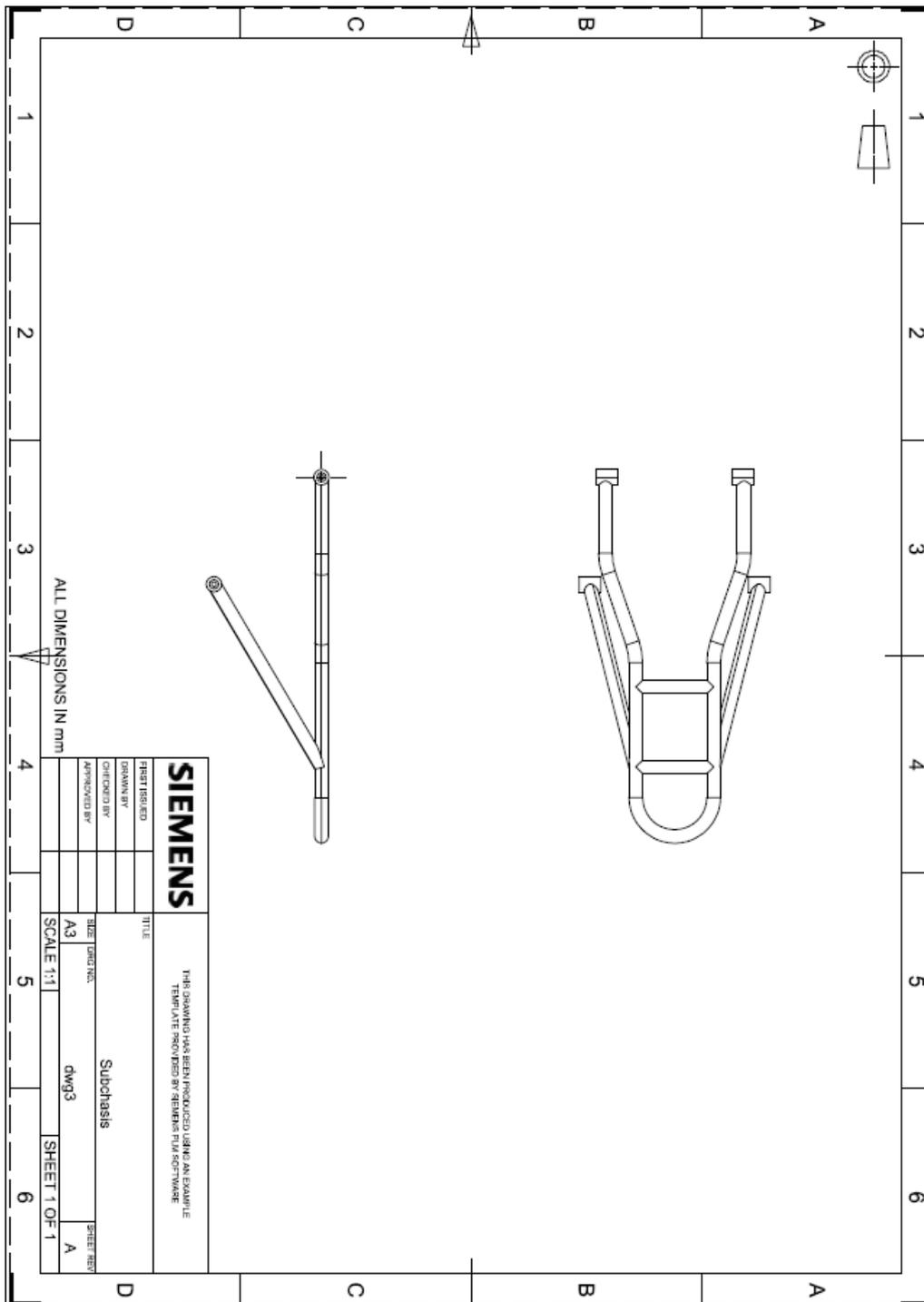
Plano de los elementos:

A1. Chasis





A2- Sub-Chasis



A3. Placa Motor

