



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries  
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

**Departamento de resistencia de materiales**

Diseño del basculante y proceso de fabricación  
del mismo y del carenado  
para una motocicleta de competición

---

por Gemma Solé Vilató

# MEMORIA

Titulación: Ingeniería Industrial

Tutora: Montserrat Sánchez Romero

Cotutor: Miguel Ángel González López

Convocatoria: Junio de 2014



## **ÍNDICE MEMORIA**

<b>1</b>	<b>Objeto .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Alcance.....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Justificación.....</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Antecedentes.....</b>	<b>14</b>
4.1	MotoStudent.....	14
4.2	MotoSpirit ETSEIAT.....	15
4.3	Primer prototipo .....	19
<b>5</b>	<b>Estado del arte.....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Especificaciones técnicas.....</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Diseño del basculante .....</b>	<b>25</b>
7.1	Análisis de las necesidades .....	25
7.2	Dinámica de la motocicleta .....	25
7.3	Evolución del diseño del basculante.....	34
7.3.1	Geometría de la motocicleta .....	35
7.3.2	Primer diseño .....	41
7.3.3	Segundo diseño .....	46
7.4	Diseño final .....	50
7.4.1	Uniones .....	56
7.4.2	Listado completo de materiales .....	58
7.4.3	Consideraciones del diseño final .....	61
<b>8</b>	<b>Diseño de elementos auxiliares .....</b>	<b>62</b>
8.1	Sistema de suspensión trasera .....	62
8.2	Sistema de freno trasero.....	63
8.3	Otros elementos.....	68
<b>9</b>	<b>Cálculo del basculante .....</b>	<b>69</b>

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

<b>9.1</b>	<b>Aceleración .....</b>	<b>69</b>
<b>9.2</b>	<b>Paso por curva.....</b>	<b>78</b>
<b>10</b>	<b><i>Ensayos experimentales.....</i></b>	<b>84</b>
<b>10.1</b>	<b>Uniones mediante insertos de aluminio .....</b>	<b>84</b>
<b>10.2</b>	<b>Uniones mediante laminado .....</b>	<b>90</b>
<b>11</b>	<b><i>Fabricación .....</i></b>	<b>99</b>
<b>11.1</b>	<b>Basculante .....</b>	<b>99</b>
11.1.1	Material.....	99
11.1.2	Proceso de fabricación.....	101
<b>11.2</b>	<b>Carenado .....</b>	<b>106</b>
11.2.1	Material.....	106
11.2.2	Proceso de fabricación.....	107
<b>12</b>	<b><i>Impacto medioambiental.....</i></b>	<b>118</b>
<b>12.1</b>	<b>Fase de diseño.....</b>	<b>118</b>
<b>12.2</b>	<b>Evaluación ambiental para piezas de fibra de carbono.....</b>	<b>118</b>
<b>12.3</b>	<b>Fase de construcción .....</b>	<b>120</b>
12.3.1	Minimizado de residuos.....	120
12.3.2	Tratamiento de los residuos .....	120
<b>12.4</b>	<b>Fase de explotación.....</b>	<b>121</b>
<b>12.5</b>	<b>Fase de desmantelamiento .....</b>	<b>122</b>
<b>13</b>	<b><i>Presupuesto.....</i></b>	<b>123</b>
<b>13.1</b>	<b>Basculante .....</b>	<b>123</b>
<b>13.2</b>	<b>Carenado .....</b>	<b>127</b>
<b>14</b>	<b><i>Pliego de condiciones.....</i></b>	<b>130</b>
<b>14.1</b>	<b>Medidas generales .....</b>	<b>130</b>
<b>14.2</b>	<b>Vida útil .....</b>	<b>130</b>
<b>14.3</b>	<b>Especificación de elementos .....</b>	<b>131</b>

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición*  
*Gemma Solé Vilató*

14.3.1	Elementos fabricados.....	131
14.3.2	Componentes comprados.....	131
<b>14.4</b>	<b>Transporte .....</b>	<b>131</b>
<b>14.5</b>	<b>Materiales.....</b>	<b>131</b>
<b>14.6</b>	<b>Condiciones de montaje .....</b>	<b>131</b>
<b>14.7</b>	<b>Advertencia de seguridad .....</b>	<b>132</b>
<b>15</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>133</b>
<b>16</b>	<b>Líneas futuras .....</b>	<b>134</b>
<b>17</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>136</b>
17.1	Bibliografía impresa.....	136
17.2	Bibliografía digital .....	136
<b>18</b>	<b>Agradecimientos.....</b>	<b>137</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Logo de la competición Motostudent.....	14
Figura 2.	Logos institucionales .....	15
Figura 3.	Organigrama del equipo .....	17
Figura 4.	Basculante hueco de triangulación no invertida de aleación de aluminio .....	20
Figura 5.	Basculante hueco de triangulación invertida .....	21
Figura 6.	Basculante hueco monobrazo de la Ducati 1098 .....	21
Figura 7.	Basculante hueco de Fibra de Carbono de la Ducati Desmosedici GP9 .....	21
Figura 8.	Basculante tubular de triangulación no invertida de acero .....	22
Figura 9.	Basculante tubular monobrazo .....	22
Figura 10.	Basculante de Fibra de Carbono tubular de la Bimota DB6 Deliria Superlight .....	23
Figura 11.	Geometría de la motocicleta .....	26
Figura 12.	Posición del centro de gravedad.....	27
Figura 13.	Desplazamiento lateral de los puntos de contacto con deslizamiento.....	29
Figura 14.	Geometría del basculante con cadena de transmisión.....	30
Figura 15.	Líneas de hundimiento trasero y transferencia de pesos .....	30
Figura 16.	Relación de hundimiento unitario .....	31
Figura 17.	$R > 1$ .....	32
Figura 18.	$R < 1$ .....	32
Figura 19.	Equilibrio en una curva (ruedas con grosor nulo).....	33
Figura 20.	Influencia del estilo de conducción en el ángulo de balanceo .....	34
Figura 21.	Prototipo de la moto3 de Honda .....	36
Figura 22.	Prototipo de la moto3 de Mahindra .....	36
Figura 23.	Trazado nacional de motos del circuito de velocidad de Motorland.....	37
Figura 24.	Posición del centro de gravedad.....	38
Figura 25.	Geometría de la relación de hundimiento squat .....	39
Figura 26.	Vista lateral de la motocicleta.....	40
Figura 27.	Cotas principales del prototipo que influyen en el basculante .....	41
Figura 28.	Geometría básica y puntos de apoyo .....	42

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

Figura 29.	Reparto de cargas en diferentes tubos.....	43
Figura 30.	Primera optimización .....	43
Figura 31.	Segunda optimización .....	44
Figura 32.	Planta de la estructura del basculante.....	44
Figura 33.	Primer diseño.....	45
Figura 34.	Perfil y planta del segundo diseño.....	47
Figura 35.	Diseño optimizado.....	47
Figura 36.	Segundo diseño .....	48
Figura 37.	Simulación a tensión con 8000N de carga en cada extremo.....	49
Figura 38.	Detalle de la zona crítica .....	49
Figura 39.	Zona crítica.....	50
Figura 40.	Opción 1 de la zona reforzada.....	51
Figura 41.	Simulación de la opción 1.....	51
Figura 42.	Opción 2 de la zona reforzada.....	52
Figura 43.	Simulación de la opción 2.....	52
Figura 44.	Opción 3 de la zona reforzada.....	53
Figura 45.	Simulación de la opción 3.....	53
Figura 46.	Diseño final.....	55
Figura 47.	Diferentes uniones.....	56
Figura 48.	Detalle de una unión complicada .....	57
Figura 49.	Diferentes tipos de unión en el basculante.....	58
Figura 50.	Vista general del basculante .....	60
Figura 51.	Vista general explosionada del basculante .....	60
Figura 52.	Diseño final.....	61
Figura 53.	Sistema de bieletas de la Ducati 1098.....	62
Figura 54.	Render del sistema de bieletas.....	63
Figura 55.	Suspensión proporcionada por la Organización .....	63
Figura 56.	Render de la pinza flotante trasera.....	64

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

Figura 57.	Render de la bomba de freno trasera .....	64
Figura 58.	Imagen aproximada del latiguillo.....	65
Figura 59.	Llanta trasera .....	66
Figura 60.	Disco de freno trasero .....	66
Figura 61.	Render del soporte de la pinza de freno trasero.....	67
Figura 62.	Vista del conjunto y detalle del soporte y el coliso .....	68
Figura 63.	Tensor de la cadena.....	68
Figura 64.	Motocicleta en condiciones de frenada.....	69
Figura 65.	Aceleración limitada por el levantamiento de la rueda delantera .....	70
Figura 66.	Fuerzas debidas a la aceleración .....	70
Figura 67.	Diagrama de fuerzas .....	71
Figura 68.	Esquema de las fuerzas del balancín que recaen en el basculante .....	72
Figura 69.	Diseño final para analizar.....	72
Figura 70.	Nodos del basculante .....	73
Figura 71.	Sujeción del basculante .....	74
Figura 72.	Fuerzas aplicadas en el basculante .....	74
Figura 73.	Mallado del basculante .....	75
Figura 74.	Resultado de la simulación.....	75
Figura 75.	Sección de máxima tensión .....	76
Figura 76.	Curva de tensión alargamiento de material frágil y material dúctil.....	77
Figura 77.	Fuerzas durante el paso por curva .....	78
Figura 78.	Curva de referencia del trazado del circuito de Motorland .....	79
Figura 79.	Fuerzas existentes durante el paso por curva .....	79
Figura 80.	Diagrama de fuerzas .....	80
Figura 81.	Esquema de las fuerzas del balancín que recaen en el basculante .....	81
Figura 82.	Conjunto de nodos, sujeciones, cargas y mallado .....	82
Figura 83.	Vistas del resultado de la simulación .....	82
Figura 84.	Esquema de los componentes .....	84

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición*  
Gemma Solé Vilató

<i>Figura 85.</i>	<i>Plano del inserto.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 86.</i>	<i>Inserto metálico mecanizado .....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 87.</i>	<i>Detalle del orificio del inserto.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 88.</i>	<i>Esquema del método.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 89.</i>	<i>Probetas de inserto metálico.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 90.</i>	<i>Probeta en la máquina de ensayo a tracción .....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 91.</i>	<i>Detalle de las mordazas .....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 92.</i>	<i>Grafica de los valores de la probeta A.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 93.</i>	<i>Grafica de los valores de la probeta B.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 94.</i>	<i>Secuencia de rotura.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 95.</i>	<i>Detalle delaminación del inserto metálico y del tubo de FdeC.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 96.</i>	<i>Aspecto de la pipa antes del proceso de vaciado .....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 97.</i>	<i>Desarrollo y fijación de los tubos.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 98.</i>	<i>Unión entre tubos mediante la masilla (izquierda) y masilla endurecida (derecha) .</i>	<i>93</i>
<i>Figura 99.</i>	<i>1ra capa de FdeC encima de la unión enmasillada .....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 100.</i>	<i>Laminado finalizado con las tiras de refuerzo.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 101.</i>	<i>Sistema de vacío.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 102.</i>	<i>Maquina preparada para el ensayo.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 103.</i>	<i>Detalle de la pinza que rodea los tubos .....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 104.</i>	<i>Grafica de los valores en el ensayo A .....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 105.</i>	<i>Grafica de los valores en el ensayo B .....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 106.</i>	<i>Detalle en el momento de la rotura .....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 107.</i>	<i>Detalle de la rotura en la unión.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 108.</i>	<i>Tipo de zona para cada proceso .....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 109.</i>	<i>Utillaje del refuerzo de aluminio .....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 110.</i>	<i>Utillaje con el refuerzo .....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 111.</i>	<i>Secuencia de montaje del refuerzo de aluminio .....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 112.</i>	<i>Tubos de FdC.....</i>	<i>103</i>



*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

<i>Figura 113.</i>	<i>Zonas del ensamblaje.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 114.</i>	<i>Utillaje de madera.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 115.</i>	<i>Conjunto utillaje y basculante vista delantera.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 116.</i>	<i>Conjunto utillaje y basculante vista trasera.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 117.</i>	<i>Detalle de las diferentes alturas del utillaje.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 118.</i>	<i>Tipos de fibra: Mat de vidrio (izquierda) y tejido de fibra (derecha).....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 119.</i>	<i>Desmontaje de la moto.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 120.</i>	<i>Recepción y carga de foam.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 121.</i>	<i>Recepción de la arcilla industrial, clay.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 122.</i>	<i>Cuadrícula en los ejes X, Y.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 123.</i>	<i>Corte y modelado de foam.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 124.</i>	<i>Enganche y posicionamiento de foam.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 125.</i>	<i>Volumen del prototipo en espuma de poliuretano.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 126.</i>	<i>Posicionamiento de la malla en el chasis.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 127.</i>	<i>Resultado final.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 128.</i>	<i>Modelado en clay del prototipo.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 129.</i>	<i>Horno y detalle del clay.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 130.</i>	<i>Herramientas para clay.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 131.</i>	<i>Moldeo y alisado de clay.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 132.</i>	<i>Modelo a escala real en clay finalizada.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 133.</i>	<i>Diferentes moldes del carenado del prototipo.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 134.</i>	<i>Render aproximado del carenado.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 135.</i>	<i>Medidas generales del basculante.....</i>	<i>130</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Tabla comparativa de la tensión máxima en la zona crítica.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 2. Tabla de materiales del basculante .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 3. Tabla comparativa de diferentes aluminios.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabla 4. Tabla del presupuesto de la materia prima .....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 5. Tabla del presupuesto del procesado del basculante .....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 6. Tabla del presupuesto del procesado del utillaje 1.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 7. Tabla del presupuesto del procesado del utillaje 2.....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 8. Presupuesto global del basculante .....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 9. Presupuesto global basculante .....</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 10. Presupuesto del modelo en arcilla.....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 11. Presupuesto de los moldes y carenado final.....</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 12. Presupuesto global del carenado .....</i>	<i>129</i>

## **1 Objeto**

El Objeto de este proyecto final de carrera consiste en diseñar y definir el proceso de fabricación de un basculante, así como la justificación de los elementos que forman el tren trasero, y la definición del proceso de fabricación del carenado, con la finalidad de diseñar y construir una parte de un prototipo de moto de 250cc, 4t, para participar en la III edición de la competición internacional universitaria MotoStudent, que tendrá lugar en Octubre de este mismo año 2014.

## 2 Alcance

Durante la elaboración del presente proyecto, se llevan a cabo los siguientes puntos:

- Conocimiento de las diferentes alternativas de basculantes actuales.
- Evolución del diseño del basculante.
- Diseño final del basculante.
- La tornillería del conjunto está en fase de definición en el momento de entrega del proyecto, por lo que no se tiene en cuenta como piezas del conjunto.
- Diseño de elementos auxiliares que forman el conjunto del tren trasero.
- No se realiza el estudio cinemático del sistema de bieletas.
- No se detallan los planos de las piezas auxiliares puesto que forman parte del conjunto del tren trasero y no del conjunto del basculante.
- Cálculo de tensión básico del basculante mediante elementos finitos.
- Ensayos experimentales de las uniones.
- Descripción del proceso de fabricación del basculante.
- Descripción del proceso de fabricación del carenado.

### **3 Justificación**

La realización de este proyecto se justifica a raíz de las necesidades de diseñar un elemento estructural para aplicar los conocimientos adquiridos en los estudios de Ingeniería Industrial. Además, la integración de varios elementos diseñados por varios alumnos es un hecho diferenciador y atractivo que permite pensar y diseñar globalmente.

Tal y como se comenta en el apartado 7, el diseño está pensado para su fabricación en Fibra de Carbono, y de esta manera, poder aportar conocimientos sobre nuevos materiales para el diseño de elementos estructurales.

## 4 Antecedentes

### 4.1 MotoStudent

MotoStudent es una competición universitaria a nivel mundial, promovida por MEF (Moto Engineering Foundation) que tiene como objetivo desarrollar, construir y testar el prototipo de una motocicleta de competición de 250cc 4T (Moto3). En ella, ingenieros de las diferentes facultades compiten elaborando un proyecto de ingeniería que será evaluado desde el punto de vista industrial (coste, diseño, innovación), técnico (seguridad, funcionalidad, performance) y competitivo (carrera en circuito).

Uno de los objetivos de la competición es que cada ingeniero trabaje como si lo hiciera para una empresa fabricante de motos para desarrollar y fabricar un prototipo bajo los consiguientes condicionantes tecnológicos y económicos.



Figura 1. Logo de la competición Motostudent

En Marzo de 2013 empezó la III edición de MotoStudent que finaliza en Octubre de 2014, donde los más de 30 equipos de 6 nacionalidades diferentes se verán las caras durante un fin de semana en el circuito de Motorland Aragón (Alcañiz).

La competición es un reto para los estudiantes, en el que durante un periodo de tiempo de tres cuatrimestres, estos tienen que demostrar y probar su capacidad de creación e innovación y la habilidad de aplicar directamente sus capacidades como ingenieros en comparación con los otros equipos de universidades de todo el mundo

#### Fases de la competición

La competición tiene una duración de 18 meses en los que debemos plantear todo el escenario real de un equipo de motociclismo de competición.

Las motocicletas serán evaluadas en dos fases en las que se puntuarán y premiarán diferentes aspectos. Antes de dicha evaluación, los prototipos deberán pasar una serie de verificaciones previas con el objetivo de comprobar que las motocicletas cumplen

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

con las especificaciones de prestaciones y seguridad reflejadas en el Reglamento Técnico General. El reglamento técnico puede verse en el Anexo I, y las verificaciones técnicas en el Anexo II.

Una vez pasadas las verificaciones, se procede a la evaluación en las siguientes fases:

En la fase MS1 los proyectos serán juzgados desde el punto de vista industrial como modelo de proyecto económico, evaluando aspectos como: coste, diseño, innovación, industrialización, diseño ingenieril, presentación, etc.

Antes de pasar a la MS2, las motos serán evaluadas para determinar su seguridad y funcionalidad, a través de varios eventos estáticos y dinámicos incluyendo: inspección técnica, test de frenado, varios ensayos de performance, resistencia y comportamiento dinámico. Las actividades dinámicas serán puntuadas para determinar cómo se comporta la moto.

La fase MS2 terminará con una carrera final en el circuito de Motorland Aragón. En la carrera participarán pilotos federados, seleccionados por los equipos participantes y aprobados por la organización.

Todos los equipos participantes para ser evaluados en cualquiera de las categorías deben superar el nivel mínimo tanto en MS1 como en MS2, así pues, ningún equipo puede fijarse como objetivo participar en una sola categoría.

#### 4.2 MotoSpirit ETSEIAT

MotoSpirit es un grupo de ocho estudiantes de ingeniería industrial de la ETSEIAT (Escola Tècnica Superior d'Enginyeries Industrial i Aeronàutica de Terrassa), de la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) que participa en la III edición de la competición MotoStudent con la colaboración de la universidad a través del programa INSPIRE3.



Figura 2. Logos institucionales

El programa INSPIRE3 es una iniciativa enfocada a grupos de estudiantes para la realización de proyectos de ingeniería innovadores y reales que suponen una nueva experiencia educativa fuera de las aulas.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Tutelados por Miguel Ángel González López, profesor experimentado en el mundo del motociclismo, el equipo ha establecido la estructura necesaria para que la escuela tenga, por primera vez, representación en la competición Motostudent, con la intención de luchar por todos y cada uno de los premios y reconocimientos que ofrece la organización.

El equipo tiene por objetivo diseñar y construir una motocicleta de competición técnicamente competitiva y conceptualmente diferente a las vistas hasta el momento dentro del marco de la competición. Por ello, lleva más de un año trabajando para culminar esta meta con un proyecto innovador, fiable y completamente rompedor.

Por otra parte, los ocho integrantes y fundadores del equipo MotoSpirit ETSEIAT tienen la voluntad y el compromiso de darle continuidad al proyecto y al equipo de manera que otros alumnos de la escuela tengan la posibilidad de continuar este proyecto en futuras ediciones de la competición.

Los alumnos implicados son Daniel Alcalá, Santiago Aparicio, Sergi Gusi, David Jiménez, Toni Martí, Eduard Reig, Gemma Solé y Marina Turrà.

El equipo está estructurado de forma horizontal, donde cada departamento es independiente del resto y ningún miembro del equipo está por encima de ningún otro.

La estructura del equipo se divide en departamentos técnicos y no técnicos. El grupo está estructurado de tal forma que los ocho integrantes participan tanto en los departamentos técnicos propios del diseño, fabricación e industrialización del prototipo como en aquellos no técnicos pero que son necesarios para el correcto funcionamiento del equipo en todos los aspectos empresariales.

Toni Martí, como coordinador del grupo, ejerce de vínculo entre la organización y el equipo, así como otros organismos oficiales. Es el encargado que el equipo cumpla con los plazos de entrega que marca la organización. Y tiene la misión de solucionar los posibles conflictos que puedan aparecer durante el desarrollo del proyecto entre los miembros del grupo.

Los departamentos técnicos están coordinados por David Jiménez, con el objetivo de cuadrar todas las partes del conjunto y resolver las dudas que puedan surgir durante el desarrollo ingenieril del proyecto. Es el encargado de que cada departamento cumpla con los plazos establecidos.



Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

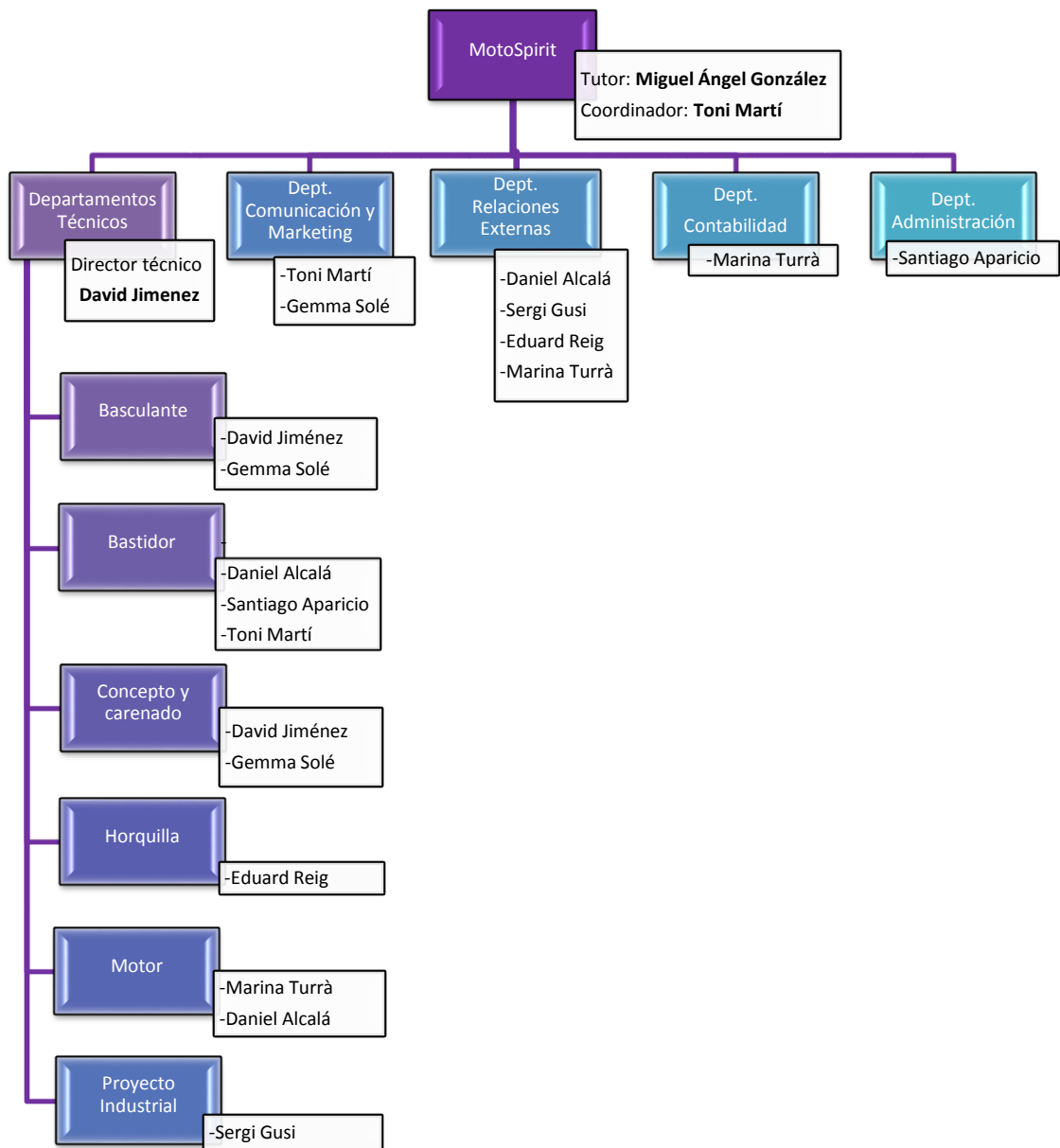


Figura 3. Organigrama del equipo

Las funciones de los departamentos técnicos son:

- **Departamento de Basculante.** David Jiménez y Gemma Solé. Encargados del diseño y la fabricación del tren trasero de la moto, incluyendo el diseño del sistema de suspensión.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

- **Departamento de Bastidor.** Daniel Alcalá, Santiago Aparicio y Toni Martí. Encargados del diseño y fabricación del cuerpo central de la moto, incluyendo los anclajes del motor y el subchasis.
- **Departamento de Carenado.** David Jiménez y Gemma Solé. Encargados de la elaboración del *concept* del prototipo y de marcar la línea estética del carenado y del conjunto general de la moto. Para ello el departamento elabora una maqueta de *clay* a escala real, que se utiliza para la fabricación del carenado.
- **Departamento de Horquilla.** Eduard Reig. Encargado del diseño y fabricación del tren delantero, incluyendo las modificaciones permitidas en las piezas de la suspensión proporcionadas por la organización.
- **Departamento de Motor.** Daniel Alcalá y Marina Turrà. Encargados del diseño y la fabricación de todos los elementos externos al bloque motor, agrupados en admisión y escape.
- **Departamento de Proyecto Industrial.** Sergi Gusi. Encargado de la elaboración del proyecto industrial del proyecto para cumplir con las especificaciones de industrialización que marca la organización.

Las funciones de los departamentos no técnicos son:

- **Departamento de Comunicación y Marketing.** Toni Martí y Gemma Solé. Encargados de la imagen del equipo y creación de la estructura necesaria para la promoción y publicidad del proyecto en todas las plataformas al alcance. Actualización de redes sociales, contacto con la prensa y organización de eventos públicos.
- **Departamento de Relaciones Externas.** Daniel Alcalá, Sergi Gusi, Eduard Reig y Marina Turrà. Encargados del contacto y la relación de las empresas que colaboran en el proyecto. Búsqueda continua de nuevas colaboraciones para cumplir las necesidades de cada departamento. Seguimiento y cuidado de los contactos establecidos manteniéndoles informados de la evolución del proyecto mediante una *newsletter* mensual. Creación de la estrategia y elaboración de la documentación necesaria para participar en plataformas de Crowdfunding (microfinanciación).
- **Departamento de Contabilidad.** Marina Turrà. Encargada del control del patrimonio del equipo, gestión de las vías de autofinanciación, elaboración del libro de cuentas, gestiones legales de la asociación y control del presupuesto general del proyecto

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

- **Departamento de Administración.** Santiago Aparicio. Encargado de las relaciones con la universidad. Gestión de la documentación administrativa interna del equipo y de los espacios y material de oficina necesarios.

#### 4.3 Primer prototipo

Este proyecto forma parte del primer prototipo diseñado y construido por MotoSpirit. El prototipo que se presentará en esta edición de la competición tiene como características principales y diferenciadoras:

- Chasis tubular de fibra de carbono (a partir de ahora FdeC). Una tecnología poco experimentada y estudiada en el mundo del motociclismo de competición y que proporciona unos valores de rigidez y ligereza a la motocicleta por encima de los sistemas convencionales.
- Diseño del carenado de la motocicleta mediante la construcción de un modelo de *clay* a escala 1:1, que permite optimizar la aerodinámica y ergonomía adaptadas a las medidas del piloto, así como el estudio de la estética de la motocicleta. También permite obtener los moldes para la fabricación artesanal del carenado mediante Fibra de vidrio.

## 5 Estado del arte

En este apartado se da a conocer las diversas tipologías de basculantes que se encuentran actualmente en el mercado de motocicletas Sport de calle y de competición de gran velocidad.

Los basculantes pueden tener diversas formas y pueden estar hechos a partir de varios materiales, como el acero, el aluminio o la FdC.

También pueden considerarse los basculantes monobrazo o doble brazo. Para los monobrazos se requiere de una llanta trasera especial, estos han evolucionado igualando a los de doble brazo, la rigidez estructural, el peso y la masa no suspendida. Sin embargo, la mayoría de los fabricantes todavía utiliza el diseño estándar de doble brazo.

Los basculante pueden optar formas triangulares, pudiendo ser invertido o no, la triangulación invertida tiene la ventaja de poder aportar peso, si fuera necesario, para bajar el centro de gravedad.

No existe una clasificación estandarizada. En este caso se clasifican en función de la forma, pudiendo ser:

- Perfiles huecos con secciones de diversas geometrías

Se trata de perfiles huecos que pueden tener diversas secciones, de tipo rectangular, hexagonal, circular,... y pueden estar fabricados en varios materiales o aleaciones. Los más utilizados tanto en competición como en motos de calle son los perfiles huecos de sección cuadrada de aleación de aluminio.



Figura 4. Basculante hueco de triangulación no invertida de aleación de aluminio

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató



Figura 5. Basculante hueco de triangulación invertida



Figura 6. Basculante hueco monobrazo de la Ducati 1098

Aunque los materiales más utilizados para este tipo de basculante es el aluminio, para aligerar el peso que requiere cada forma, también existen modelos de FdeC, modelos huecos que requieren moldes y que permite aportar diferentes rigideces en función de la configuración de las fibras.



Figura 7. Basculante hueco de Fibra de Carbono de la Ducati Desmosedici GP9

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

- Tubular

Se trata de tubos unidos mediante soldadura. Generalmente de acero para garantizar una rigidez óptima del basculante, y también por la facilidad de trabajo de la soldadura en este material.



Figura 8. Basculante tubular de triangulación no invertida de acero



Figura 9. Basculante tubular monobrazo

La tecnología de FdeC en un basculante tubular apenas se ha utilizado en motocicletas. No hay constancia de ningún basculante en ninguna motocicleta de carreras de estas características, solo existe una versión de la motocicleta de calle de la marca Ducati, una versión aligerada de la tubular de acero. Esta tecnología reduce el peso del conjunto pero dificulta la unión tubular, en este caso se desconoce la unión empleada entre los tubos.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 10. Basculante de Fibra de Carbono tubular de la Bimota DB6 Deliria Superlight

Después del análisis de los tipos de basculantes existentes en el mercado, se llega a la conclusión de que el material menos utilizado es la FdeC, y en cuanto a la forma tubular solo existe un modelo en el mercado.

## **6 Especificaciones técnicas**

La organización del evento MotoStudent proporciona una serie de elementos comunes para todos los equipos. Entre ellos están las llantas delantera y trasera, se trata de las llantas de la Yamaha YZF 125R, una motocicleta con basculante de doble brazo. A priori la llanta trasera está diseñada para un basculante de doble brazo, dificultando el diseño de un basculante monobrazo. Por este motivo, se limita el diseño a un basculante doble brazo.

Cada edición de MotoStudent existe un reglamento técnico impuesto por la organización. Con él se pretende estandarizar y acotar la gran variedad de posibilidades que existe en la construcción de un prototipo de moto de competición. De este modo todos los proyectos presentados por las diferentes universidades inscritas en la competición se ajustarán a una línea de trabajo orientativa y común, posibilitando una competición objetiva entre los participantes.

El reglamento técnico general se encuentra en el Anexo I.



## 7 Diseño del basculante

### 7.1 Análisis de las necesidades

El diseño del basculante de una motocicleta es bastante difícil a causa de que existen muchas variables que interactúan entre ellas y son complicadas de medir y cuantificar.

La evolución del diseño de todos los parámetros que influyen en una motocicleta se realiza a partir de las sensaciones del piloto. Se han intentado simular y estudiar los movimientos del piloto encima de la motocicleta, lo cual es el resultado de unos parámetros existentes, que de forma empírica se deciden para el diseño del vehículo.

Tal y como hemos visto en el apartado 5, sólo existe un modelo tubular en FdeC, y muy pocos modelos huecos en fibra.

Los modelos huecos requiere un molde previo, por lo tanto, un alto coste de inversión inicial. Debido a que el equipo no dispone de alta cantidad monetaria para tal finalidad, se desestima la idea de realizar moldes. Los modelos tubulares, en cambio, no requieren de un molde previo, por lo tanto, se trata de un proceso más económico que dificulta la unión entre los tubos.

La FdeC presume de tener propiedades mecánicas similares al acero y una ligereza parecida a la madera, reduciendo así, el peso del conjunto de la motocicleta. Es un material muy rígido que tiene un módulo de elasticidad elevado, por lo tanto, no absorbe las fuerzas aplicadas en frenada, aceleración y paso por curva como lo absorbe el aluminio o el acero. Absorbiendo dichas fuerzas las amortiguaciones delantera y trasera y ambos neumáticos.

### 7.2 Dinámica de la motocicleta

El basculante es un elemento estructural importante en el comportamiento de la motocicleta, debido a que variando su dimensión se consigue aumentar o disminuir la distancia entre ejes, por lo que la motocicleta se comporta de manera distinta.

Las motocicletas pueden ser descritas usando los siguientes parámetros:

- Distancia entre ejes
- Excentricidad de la horquilla "offset"
- Avance
- Ángulo de dirección
- Ángulo del basculante

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

- Longitud del basculante
- Radio de la rueda trasera
- Radio de la rueda delantera
- Radio de la sección del neumático trasero
- Radio de la sección del neumático delantero

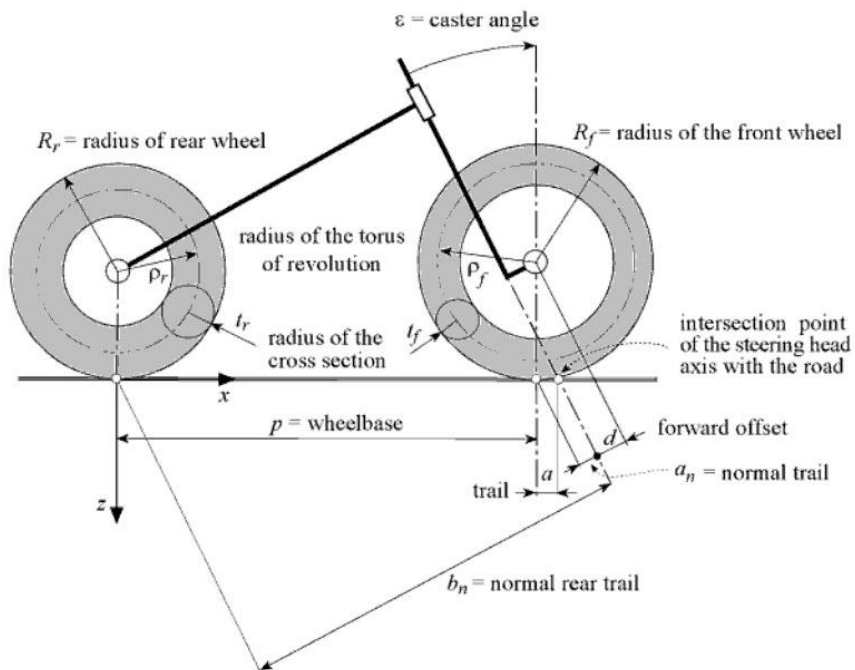


Figura 11. Geometría de la motocicleta

La distancia entre ejes es la distancia entre los puntos de contacto de los neumáticos. La excentricidad de la horquilla es la distancia perpendicular entre el eje de dirección y el centro de la rueda delantera. El ángulo de dirección es el formado entre un eje vertical y el eje de rotación de la dirección. El avance es la distancia entre el punto de contacto del neumático y el punto de intersección con el suelo resultante al prolongar el eje de dirección.

Es muy difícil analizar la importancia de cada uno de estos parámetros independientemente, ya que unos influyen sobre otros.

#### Distancia entre ejes

El valor de la distancia entre ejes oscila desde 1200mm. hasta 1800mm. para cilindrada pequeña en motos de competición. Esta distancia es ajustable entre 20 y 40 mm.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Permitiendo así, acomodar las variaciones del piñón de ataque y de la tensión de la cadena.

En general, un incremento de la distancia entre ejes, asumiendo el resto de los parámetros permanecen constantes, nos lleva a:

- un desfavorable incremento en la deformación flexional y torsional del bastidor, parámetros muy importantes para la maniobrabilidad;
- incremento del mínimo radio de curvatura, lo que hace más difícil tomar las curvas;
- incremento del par necesario para aplicar en el manillar al tomar las curvas;
- favorable decremento de la transferencia de pesos entre los dos ejes durante la aceleración y el frenado, con el resultado de una disminución del cabeceo de la motocicleta, lo que dificulta el despegue de las ruedas del suelo;
- favorable disminución del cabeceo como consecuencia de irregularidades del firme;
- favorable incremento de la estabilidad direccional.

Si aumentamos el ángulo dirección debemos aumentar el avance. El avance varía entre 85 a 100 mm en competición.

#### Centro de gravedad

La posición del centro de gravedad de la motocicleta tiene una influencia significativa en el comportamiento dinámico. Posición depende de la distribución de masas y de la cantidad de peso de los distintos elementos individuales. Como el motor es el componente más pesado (alrededor de un 25% de la masa total), su localización influye de una manera significativa en la posición del centro de gravedad de la motocicleta.

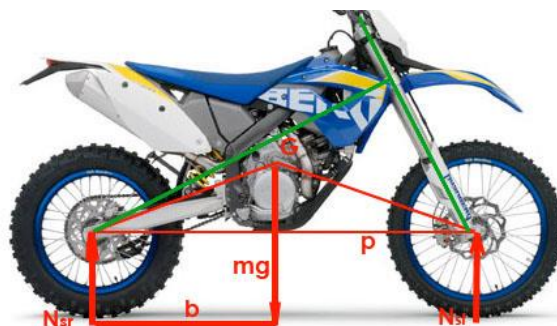


Figura 12. Posición del centro de gravedad

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Una motocicleta se caracteriza, en general, por su distribución de pesos, expresada en porcentaje:

$$\frac{\%frontal}{\%trasero} = \frac{N_{sf}}{N_{sr}} = \frac{b}{p-b}$$

La distribución de peso en las ruedas bajo condiciones estáticas carga generalmente un poco más la rueda delantera en las motocicletas de Gran Premio (del 50 a 57% delante y del 43 al 50% detrás).

En general, la posición del piloto eleva y retrasa el centro de gravedad total y, por tanto, su presencia incrementa la carga en la rueda trasera. Hay que tener muy en cuenta este hecho ya que lo que nos interesa para el comportamiento dinámico de la motocicleta es el centro de gravedad combinado o total.

La altura del centro de gravedad (h), dependerá del coeficiente de rozamiento del neumático con el firme, estando más bajo cuanto mayor sea dicho coeficiente. En una carrera de Gran Premio actual ( $\mu=1,4$ ), el centro de gravedad debe estar bastante más abajo.

La altura variará según  $\mu$ :

$$h = \frac{p}{2 \cdot \mu}$$

De manera resumida:

- Un centro de gravedad ligeramente adelantado hace que la motocicleta tienda a ser sobreviradora y en las curvas la rueda trasera deslice lateralmente.
- Si el centro gravedad está ligeramente retrasado ocurriría lo contrario, la motocicleta tenderá a ser subviradora y en las curvas deslizará más la rueda delantera.
- Un centro de gravedad ligeramente alto para que la rueda delantera tiende a levantarse durante la aceleración y la trasera durante la frenada.
- Un centro de gravedad ligeramente bajo para que la rueda trasera tienda a deslizar en la aceleración y la delantera en la frenada.

### Ángulo de contacto de la rueda trasera

Otro aspecto a tener en cuenta de la dinámica de la motocicleta es el ángulo de contacto de la rueda trasera. Se considera una motocicleta inicialmente vertical en la que la sección de la rueda trasera es mayor que la de la delantera. Se asume que el bastidor se inclina lateralmente sin deslizamiento. En dicho caso el punto de contacto de la rueda trasera con el suelo se mueve también lateralmente con una distancia proporcional al radio de la sección de la rueda y al ángulo de rotación del bastidor. Como la sección de la rueda delantera es menor, el punto de contacto de la rueda delantera se desplazará lateralmente menos que el de la trasera.

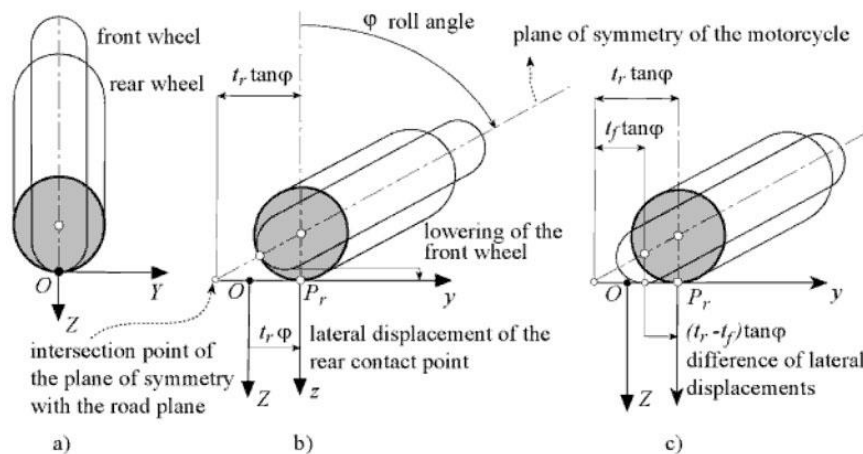


Figura 13. Desplazamiento lateral de los puntos de contacto con deslizamiento

### Ángulo de inclinación de la cadena

El ángulo de inclinación de la cadena, juntamente con el squat, determina el ángulo de inclinación del basculante.

Es necesario expresar el ángulo de inclinación de la cadena,  $\eta$ , en función de la inclinación angular del basculante,  $\varphi$ .

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

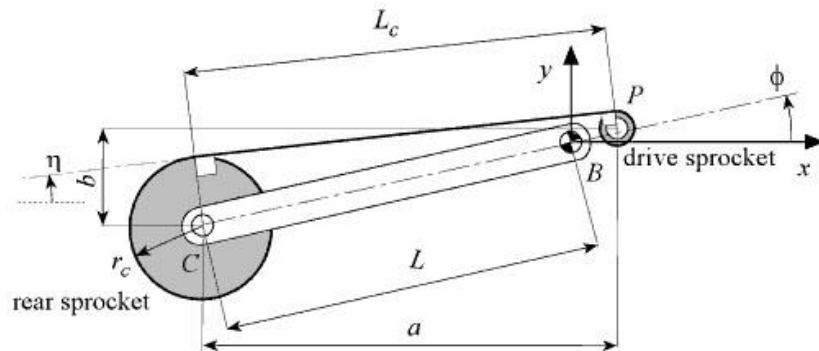


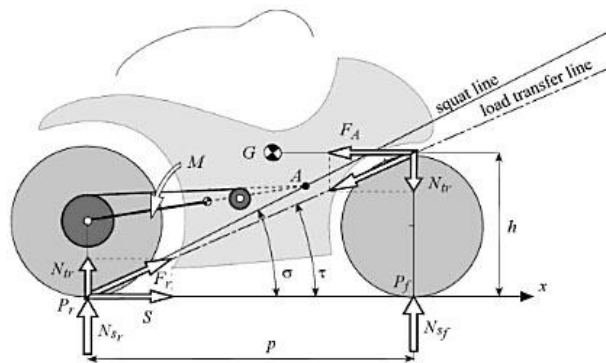
Figura 14. Geometría del basculante con cadena de transmisión

$$b - (r_c - r_p) \cos \eta = L_c \sin \eta$$

Por razones prácticas podemos asumir que  $\cos \eta$  es aproximadamente 1.

### Squat

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



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

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

Figura 15. Líneas de hundimiento trasero y transferencia de pesos

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

Se supone el comportamiento de la motocicleta en movimiento a velocidad constante y con presencia de un empuje equilibrado por la fuerza de resistencia aerodinámica.

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

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

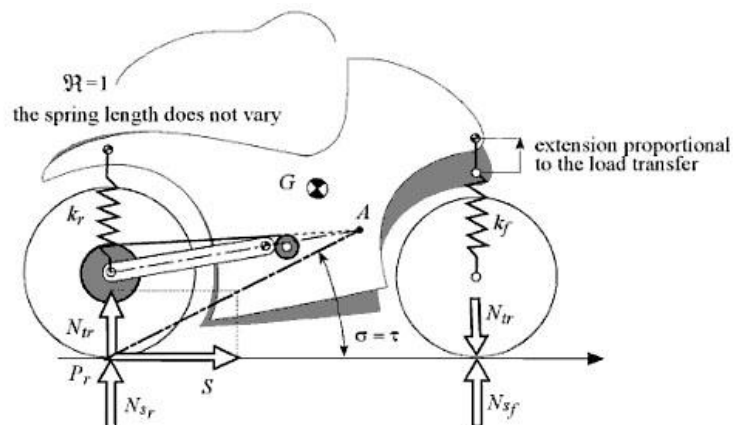


Figura 16. Relación de hundimiento unitario

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

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

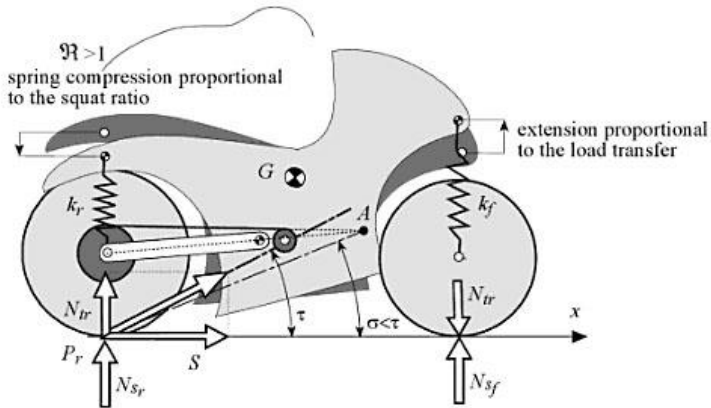


Figura 17.  $R > 1$

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

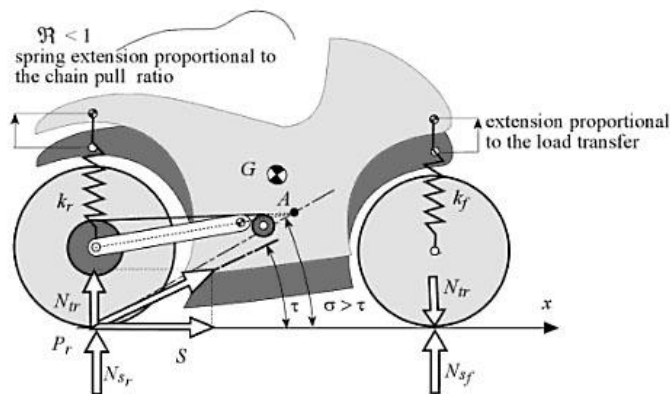


Figura 18.  $R < 1$

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

#### Actitud en curva

Cuando la motocicleta entra en una curva, está sujeta a un momento restaurador, generado por la fuerza centrífuga, que tiende a devolver a la motocicleta a su posición



Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

vertical. También está sujeta a la fuerza generada por su propio peso, que tiende a incrementar la inclinación de la motocicleta, o ángulo de balanceo o rotación.

$$\varphi_i = \arctan \frac{R_c \Omega^2}{g} = \arctan \frac{V^2}{g R_c}$$

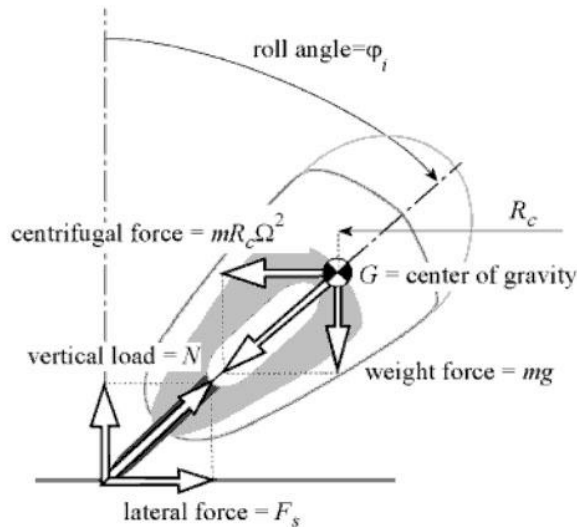


Figura 19. Equilibrio en una curva (ruedas con grosor nulo)

En condiciones de equilibrio la resultante de la fuerza centrífuga y el peso pasa a través de la línea que une los puntos de contacto de los neumáticos (grosor nulo) siempre que el ángulo de giro sea muy pequeño (despreciable a efectos de cálculo, efecto giroscópico nulo).

El uso de neumáticos anchos fuerza al piloto a aumentar el ángulo de rotación con respecto al que sería necesario con neumáticos más estrechos. Es más, con secciones de neumáticos iguales, para describir la misma curva a la misma velocidad, una motocicleta con un centro de gravedad bajo necesita inclinarse más que otra con uno más alto.

Conviene que el piloto se incline hacia el interior de la curva al mismo tiempo que gire su pierna intentando tocar el firme con la rodilla, de esta manera se reduce el ángulo de inclinación de la motocicleta para una misma velocidad de paso por las curva.

En las carreras, los pilotos mueven el cuerpo entero hacia el interior de la curva; de esta manera reducen el ángulo de rotación y mejoran el control de la motocicleta. El desplazamiento del centro de gravedad del sistema hacia el interior (cuerpo y rodilla) causa un momento aerodinámico de guiñada que facilita el paso por curva.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

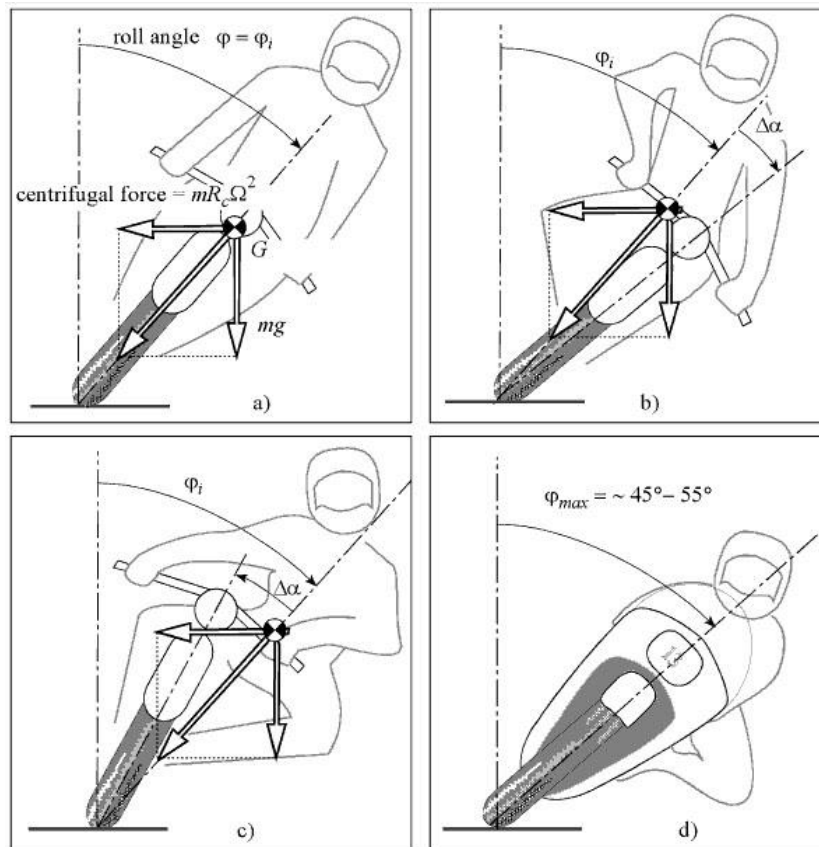


Figura 20. Influencia del estilo de conducción en el ángulo de balanceo

El comportamiento de giro de una motocicleta depende de varios parámetros geométricos (distancia entre ejes, offset, ángulo de dirección, radio de las ruedas, sección de las ruedas), de la distribución de pesos y propiedades de los neumáticos. Las propiedades de los neumáticos, en particular, son muy importantes porque el ángulo de giro efectivo depende de la de diferencia entre los ángulos de deslizamiento laterales.

### 7.3 Evolución del diseño del basculante

Existe más de una solución para dotar de un basculante a la motocicleta que se quiere fabricar. La normativa de la competición no es muy restrictiva, con lo cual deja vía libre a la imaginación del diseñador.

Las pautas a seguir para empezar el diseño son:

- Llanta estándar, que condiciona el diseño de un basculante de doble brazo convencional.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

- El material empleado es la FdeC.
- El diseño se realiza a partir de tubos de FdeC, ya que no requieren moldes.

### 7.3.1 Geometría de la motocicleta

El paso previo para diseñar el basculante, tal y como se comenta en el apartado 7.2, es la definición de los siguientes parámetros geométricos que afectan directamente al basculante:

- Distancia entre ejes
- Posición del centro de gravedad
- Ángulo del basculante
- Longitud del basculante

Hay una serie de parámetros que no se deciden ya que están impuestos por la organización de la competición. Son los siguientes:

- Radio de la rueda trasera = 314mm
- Radio de la rueda delantera = 299,5mm

El piñón y la corona son elementos que influyen directamente en la geometría del basculante, el primero de ellos viene determinado con el motor, teniendo un diámetro de 75,36mm, y la corona viene determinada por el tipo de llanta, con un diámetro de 200mm.

#### Distancia entre ejes

Debido a la complejidad de acceso a la información de los parámetros geométricos de las motos de competición, solo se consiguen las medidas de una moto3 de la firma KTM, aunque muy antigua.

A partir de fotografías de modelos de moto3 actuales de diferentes marcas, se decide acotar su geometría,

Dónde:

- L, distancia entre ejes
- d, offset
- a, avance
- E, ángulo de dirección
- $\Delta$ , ángulo del basculante
- B, longitud del basculante

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

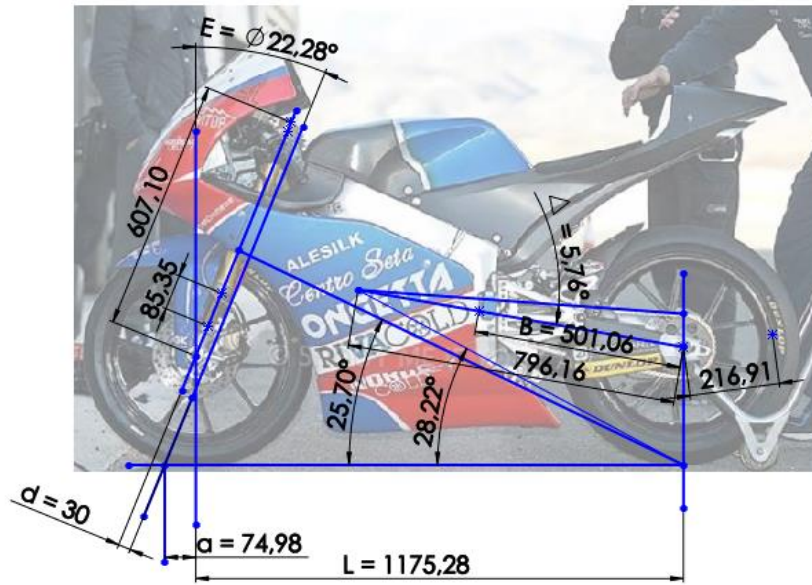


Figura 21. Prototipo de la moto3 de Honda

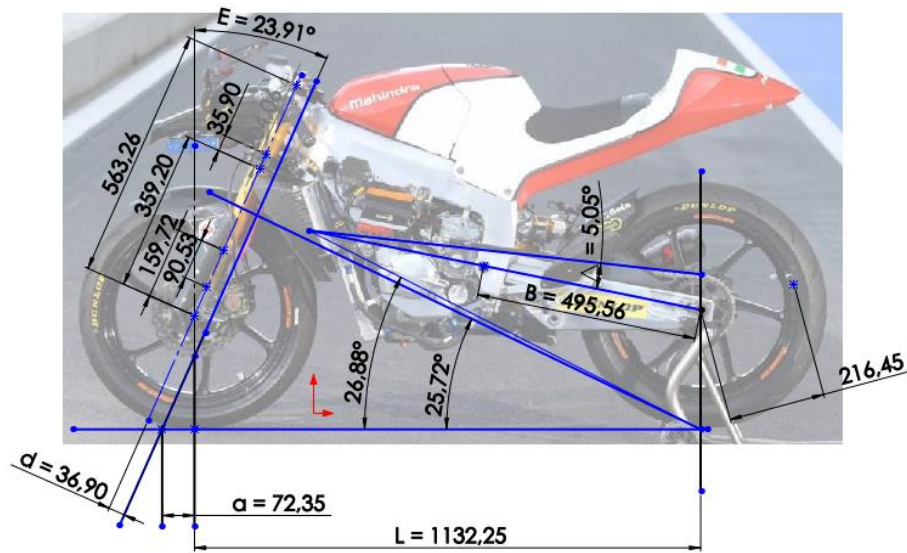


Figura 22. Prototipo de la moto3 de Mahindra

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Se analiza el trazado del circuito de Motorland por donde tendrá lugar la carrera Motostudent.

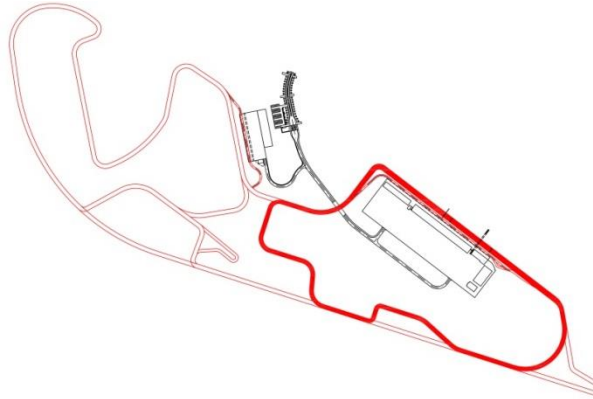


Figura 23. Trazado nacional de motos del circuito de velocidad de Motorland

Debido a la geometría del trazado, marcado en rojo, el cual no permite la circulación por la recta larga, teniendo solamente rectas relativamente cortas y muchas curvas, interesa que la motocicleta sea lo más ágil posible, aunque este efecto sacrifica la estabilidad del vehículo, y puesto que el piloto no es profesional, también interesa que la moto sea lo más estable posible para garantizar una buena conducción. Teniendo en cuenta de que el motor proporcionado por la organización corresponde a un motor de enduro, y este tipo de motores no tienen tanta potencia como los motores para motocicletas de moto3, se considera un motor suficientemente ágil para no sacrificar la estabilidad de la motocicleta.

Tal y como se comenta en el apartado 7.2, el valor de la distancia entre ejes oscila desde 1200mm. hasta 1800mm. para cilindrada pequeña en motos de competición. Se define una **distancia entre ejes de 1270mm.**

Las motocicletas analizadas anteriormente tienen motores concretos para motos de velocidad de moto3, y son conducidas por pilotos profesionales, por este motivo la distancia entre ejes es menor que la definida en este proyecto.

#### Posición del centro de gravedad

Para definir el centro de gravedad se fija una distribución de pesos del 52% en la parte frontal y un 48% en la parte trasera, y aplicando las siguientes fórmulas se obtiene su posición en situación estática.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

Posición longitudinal:

$$\frac{\%frontal}{\%trasero} = \frac{\frac{b}{p}}{\frac{p-b}{p}} \rightarrow \frac{52\%}{48\%} = 1,083 = \frac{\frac{b}{1270}}{\frac{1270-b}{1270}} \rightarrow b = 660,40mm$$

$$1270 - 660,40 = 609,6mm \rightarrow c = 609,6mm$$

**posición longitudinal del *cdg* respecto el eje delantero = 609,6mm**

Para la altura (h), se considera que el coeficiente de fricción de los neumáticos slick es de  $\mu=1,3$ . La altura queda definida de la siguiente manera:

$$h = \frac{p}{2 \cdot \mu} = \frac{1270}{2 \cdot 1,3} = 488,46mm \rightarrow \text{altura } \mathbf{cdg} = \mathbf{488,46mm}$$

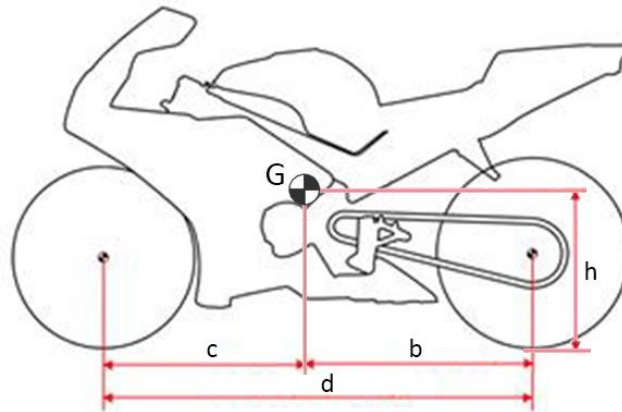


Figura 24. Posición del centro de gravedad

### Ángulo del basculante

A partir de este momento se fijan los ángulos que relacionan el hundimiento squat, tal y como se dice en el apartado 7.1. Se cita que la mejor relación de ángulos es  $\theta > t$ .

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

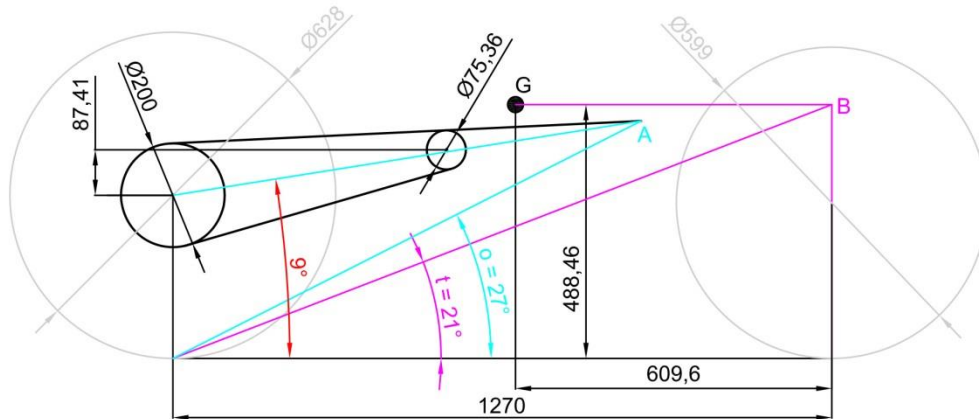


Figura 25. Geometría de la relación de hundimiento squat

El ángulo (t) está definido desde el momento en que se define la altura del centro de gravedad. La intersección entre la recta longitudinal de la altura del centro de gravedad y la recta transversal del punto de contacto del neumático de la rueda delantera, B, se traza una recta hasta el punto de contacto con el neumático trasero, y queda definido el ángulo (t), siendo en este caso  $21^\circ$ . En la imagen anterior se ven los trazados que influyen en este ángulo en color rosa.

Teniendo en cuenta de que  $o > t$ , se define el ángulo (o).

A partir del radio del piñón y de la cadena, se traza una recta que intersecciona con la recta que define el ángulo del basculante ( $\Delta$ ), quedando definido el punto A. Desde dicho punto hasta el punto de contacto del neumático de la rueda trasera, se traza una recta que definirá el ángulo (o). Como el radio del piñón está definido por el motor, y se considera que el radio de la corona está definida por la llanta, ajustando el ángulo del basculante se define el ángulo (o). En la imagen anterior se ven los trazados que influyen en este ángulo en color azul.

Se considera una **inclinación del basculante de  $9^\circ$** , y se determina el ángulo (o) de  $27^\circ$ .

#### Longitud del basculante

Para definir la longitud del basculante se tienen en cuenta el espesor del radiador y la geometría del motor dentro de los límites de la motocicleta cuando está en situación de máxima frenada, que es cuando la pipa de dirección se comprime al máximo, reduciendo el espacio del radiador. La **longitud del basculante obtenida es de 530mm**.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

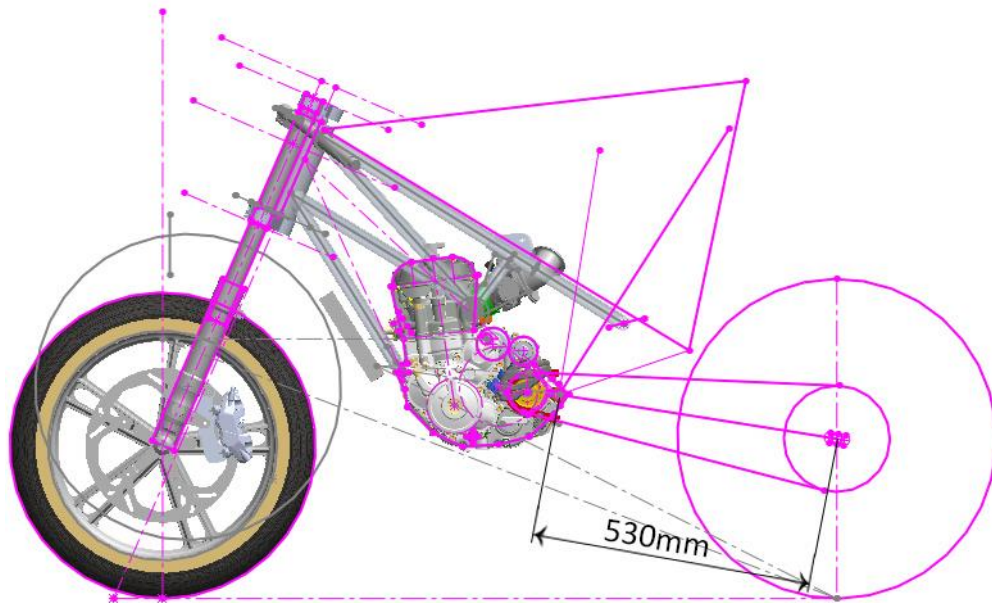


Figura 26. Vista lateral de la motocicleta

Además de estos parámetros definidos para dar comienzo al diseño del basculante, se requieren otros parámetros para definir el tren delantero de la motocicleta, que en este proyecto no se contempla debido a que no afecta a la geometría del diseño del basculante.

Finalmente, la geometría del prototipo que influye en el basculante queda definida de la siguiente manera,

Dónde:

- L, distancia entre ejes
- $\Delta$ , ángulo del basculante
- B, longitud del basculante
- d1, diámetro de la rueda delantera
- d2, diámetro de la rueda trasera
- d3, diámetro del piñón
- d4, diámetro de la corona
- cdg, centro de gravedad
- h, altura del centro de gravedad
- l, longitud del centro de gravedad
- A, intersección entre longitud del piñón-corona y el ángulo del basculante (B)



Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

- o, ángulo de hundimiento trasero
- t, ángulo de transferencia de carga

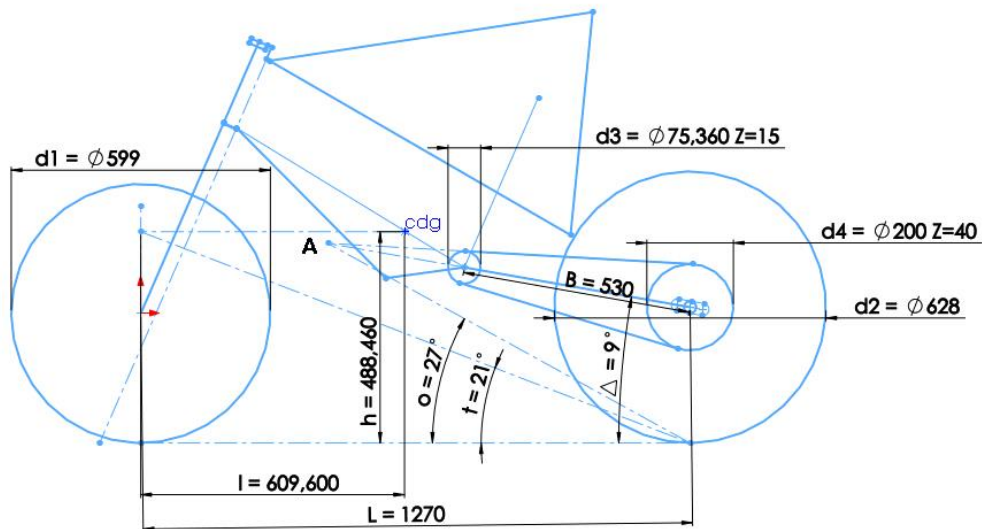


Figura 27. Cotas principales del prototipo que influyen en el basculante

El diámetro de los tubos y su espesor de pared están determinados por el tamaño, el peso y la potencia de la moto, y también por el tipo de diseño de la estructura. Los tamaños típicos para un tubo de acero pueden variar entre 15 mm. de diámetro por 1 o 1,5 mm. de pared hasta 25 mm. De diámetro por 1 o 1,5 mm. de pared. Para los tubos más largos del chasis de una motocicleta no es habitual que se necesiten diámetros de más de 25mm.

Como se desconoce el comportamiento de diferentes secciones de tubo de FdeC, y aunque la fibra tenga características mecánicas similares al acero, se determina trabajar con tubos de 28 mm. de diámetro con un espesor de 2 mm. ya que es un diámetro constructivamente bueno.

### 7.3.2 Primer diseño

Como el basculante está sometido a cargas de tracción, compresión, flexión y torsión, se parte con la idea de triangular al máximo la estructura del basculante con la finalidad de disminuir las cargas a flexión y que la mayoría de las cargas solo sean a compresión y tracción.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

La configuración de las fibras del material se decide a partir de las cargas de trabajo a las que está expuesto el basculante, por lo tanto, que la mayor de las cargas sean a tracción y compresión determinan que un mayor porcentaje de las fibras deberán estar a 0°.

El sistema de bieletas, que se comenta en el apartado 8.1, está decidido. Dicho sistema condiciona que el basculante tenga dos puntos de apoyo, uno para el muelle y otro para la bieleta.

La idea preliminar es diseñar un basculante tubular de doble brazo que combine la triangulación invertida y la no invertida, simétrico para repartir las cargas a partes iguales, con la finalidad de ver las ventajas y desventajas para ir evolucionando la idea inicial.

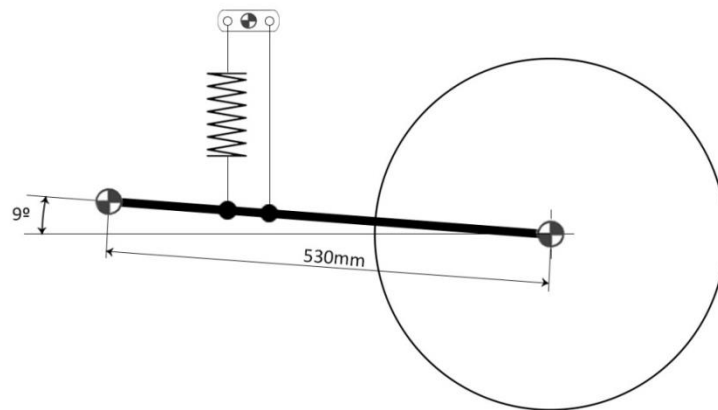


Figura 28. Geometría básica y puntos de apoyo

En la anterior imagen se observa los puntos de apoyo del eje de la rueda y del eje pivotante del motor y del bastidor, junto con el esquema del sistema de bieletas, el cual tiene un punto de apoyo en el centro del balancín, unido al bastidor, y dos puntos de apoyo en el basculante, uno para la bieleta y otro para el muelle.

Con la finalidad de que una sola tubo trabaje a flexión, se reparten los puntos de apoyo del muelle y de la bieleta en dos tubos, repartiendo esfuerzos y evitando un excesivo trabajo a flexión en cada tubo, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

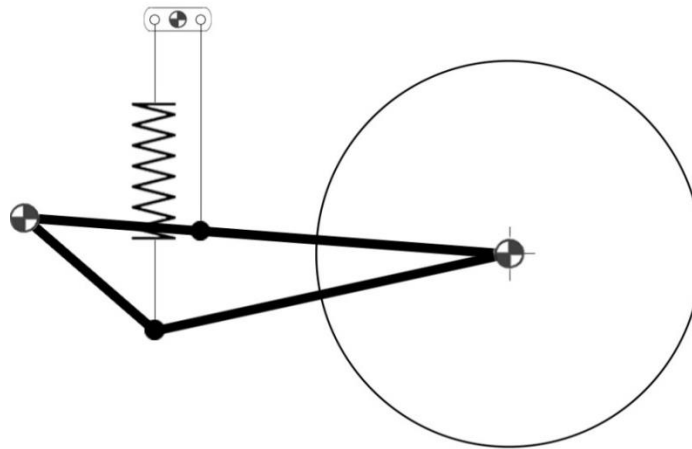


Figura 29. Reparto de cargas en diferentes tubos

Aun así, los dos tubos que configuran el basculante trabajan a mucha flexión, así que se optimiza dicha estructura añadiendo más tubos y triangulando para que los tubos eviten el trabajo a flexión.

Se apuesta por un diseño que combine la triangulación invertida y no invertida para conseguir un equilibrio en la triangulación y obtener un CdeG óptimo. Este hecho afecta al Centro de gravedad del conjunto de la motocicleta. Un centro de gravedad ligeramente alto, provoca que la rueda delantera tienda a levantarse durante la aceleración y la trasera durante la frenada. Un centro de gravedad ligeramente bajo, provoca que la rueda trasera tienda a deslizar en la aceleración y la delantera en la frenada.

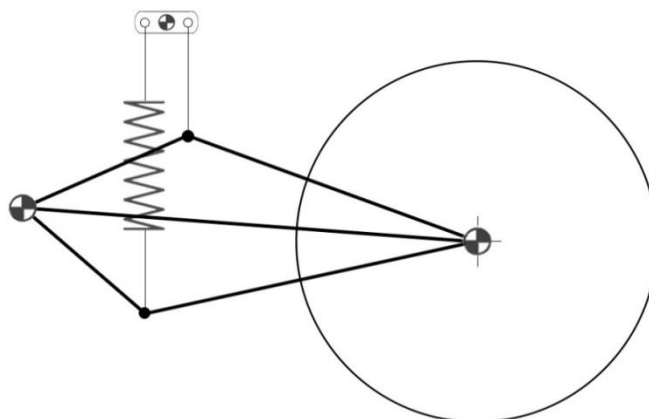


Figura 30. Primera optimización

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

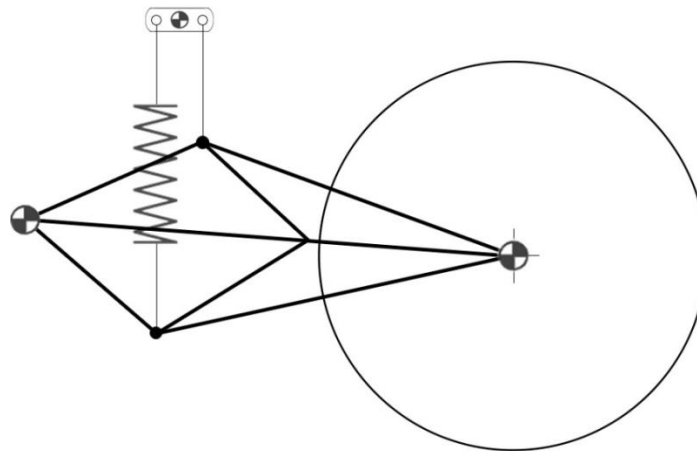


Figura 31. Segunda optimización

La triangulación del esquema optimizado parece distribuir las cargas de los tubos y que estas trabajen mayoritariamente a tracción y a compresión.

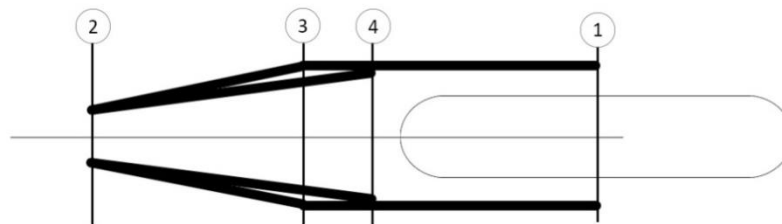


Figura 32. Planta de la estructura del basculante

Siendo,

- 1, eje de la rueda
- 2, eje de unión entre el basculante, el bastidor y el motor
- 3, eje de unión con el muelle
- 4, eje de unión con la bieleta

Visto en planta, el eje de la rueda estará a la distancia mínima que permiten los componentes del sistema de freno y del sistema de distribución, siendo esta la distancia mayor del ancho del basculante, mientras que el eje pivotante del bastidor será la distancia menor del ancho del basculante ya que en este eje habrá pocos elementos e interesa que sea lo más corto posible para que las cargas de los puntos de apoyo del basculante, bastidor y motor creen un menor momento entre ellos. Los ejes donde

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

están colocados los puntos de unión del muelle y de la bieleta serán los puntos de unión entre las triangulaciones de los tubos.

Los ejes están pensados para que sean tubos metálicas, mientras que los tubos de la estructura que componen el perfil del basculante son de FdeC.

En la siguiente imagen se representa el primer diseño junto con la llanta, proporcionada por la organización, y el neumático.

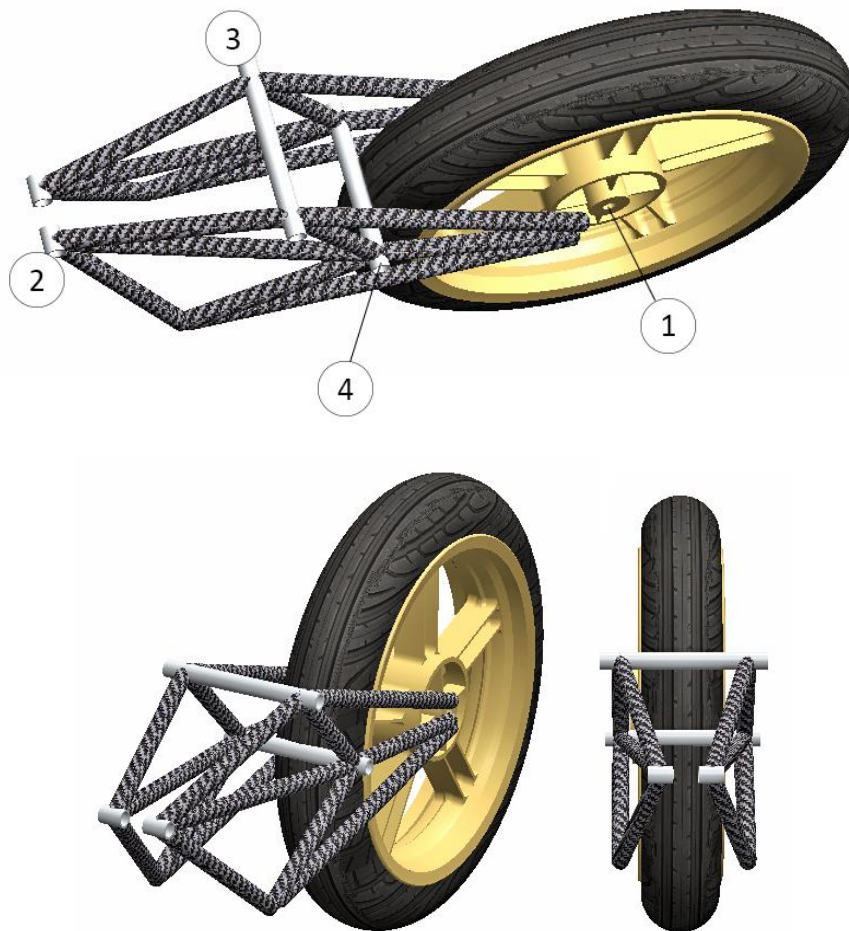


Figura 33. Primer diseño

En el extremo final del basculante se coloca el tensor de la cadena, y junto a él, algún elemento de unión con las tubos, aunque este elemento se pensará en el diseño final, al igual que todas las uniones entre las tubos.

## Conclusiones

El diseño tiene varios planos de montaje debido a que tiene dos anchuras distintas, esto beneficia al eje de unión del basculante, bastidor y motor, y también beneficia al paso para la cadena, pero dificulta el ensamblaje del conjunto.

Teniendo en cuenta de que la fabricación del basculante es un proceso manual y artesanal que será fabricado por los propios miembros del equipo, se facilitaría su construcción si el basculante tuviera un solo plano.

Las uniones es un tema que se trata en el apartado 7.3.1, pero cabe destacar que las zonas más críticas del basculante son las uniones, dificultando su resistencia cuantas más uniones tenga.

La combinación invertida y no invertida no favorece a un centro de gravedad óptimo. Se concluye en que una triangulación invertida favorece el centro de gravedad debido a que a priori, este estará por debajo, y si es necesario, puede subirse colocando peso extra en la estructura; pero jamás se podrá diseñar un basculante con triangulación no invertida, donde el centro de gravedad estará ligeramente por encima, y este pueda bajarse.

El primer diseño no es válido, así que se evoluciona sobre el mismo para obtener un diseño óptimo en los aspectos comentados anteriormente.

### 7.3.3 Segundo diseño

Después de las conclusiones del primer diseño, se pretende evolucionar el diseño para disminuir las desventajas. Esta vez se rediseña la estructura a una triangulación invertida, y solamente con un plano de fabricación.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

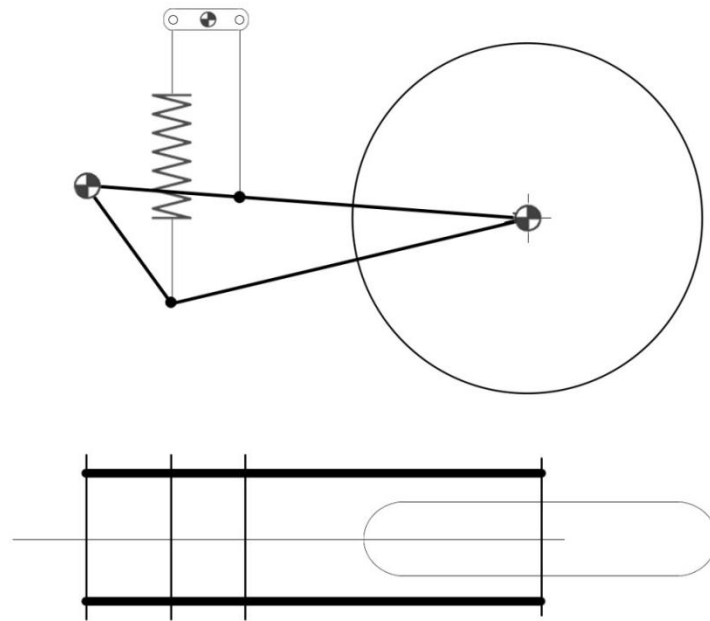


Figura 34. Perfil y planta del segundo diseño

De la misma manera que en el primer diseño, se optimiza la estructura triangulando los tubos para que estas no trabajen tanto a flexión, pero sin sobrepasar el total de 5 uniones que hay en el primer diseño.

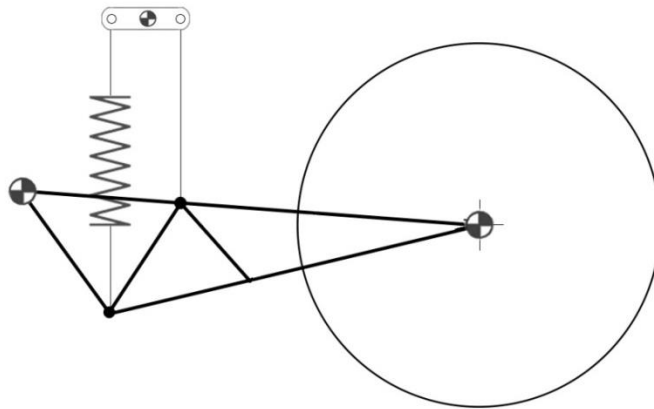


Figura 35. Diseño optimizado

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

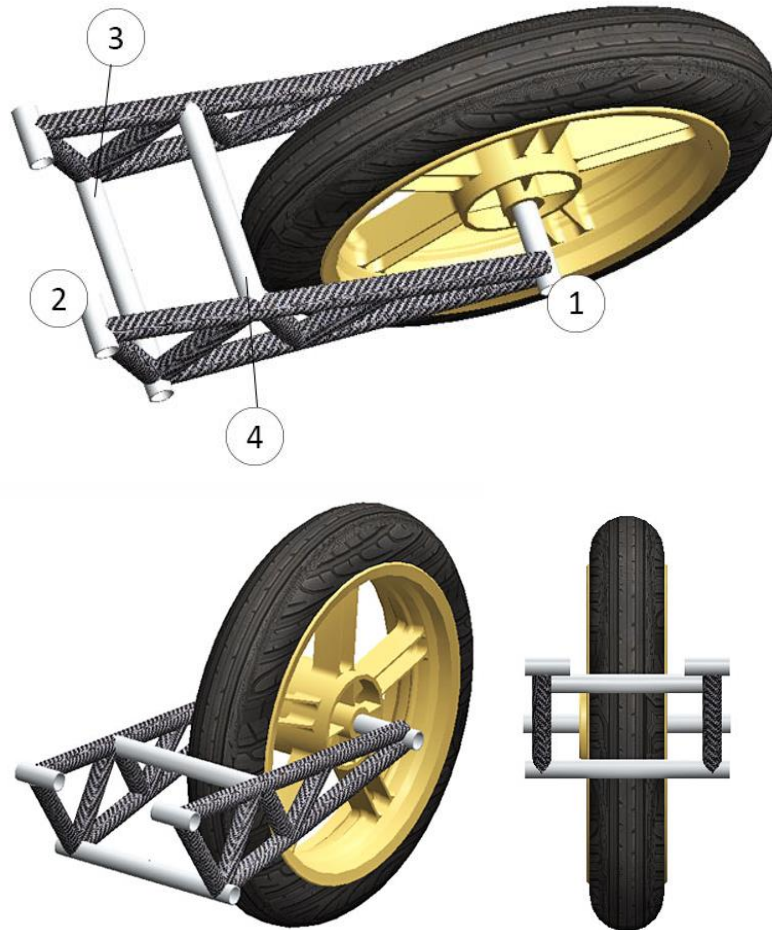


Figura 36. Segundo diseño

Siendo,

- 1, eje de la rueda
- 2, eje de unión entre el basculante, el bastidor y el motor
- 3, eje de unión con el muelle
- 4, eje de unión con la bieleta

Se realiza una básica simulación de cargas en los extremos de la bieleta y del muelle para saber cuál es la zona que más sufre de este diseño.

El procedimiento a seguir es el mismo que se sigue en el apartado 9.1. Se consideran unas cargas sobredimensionadas de 8000N, a priori la estructura del basculante no



Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

llegará a estas cargas, pero se aplica este valor al azar solamente para determinar las zonas más críticas.

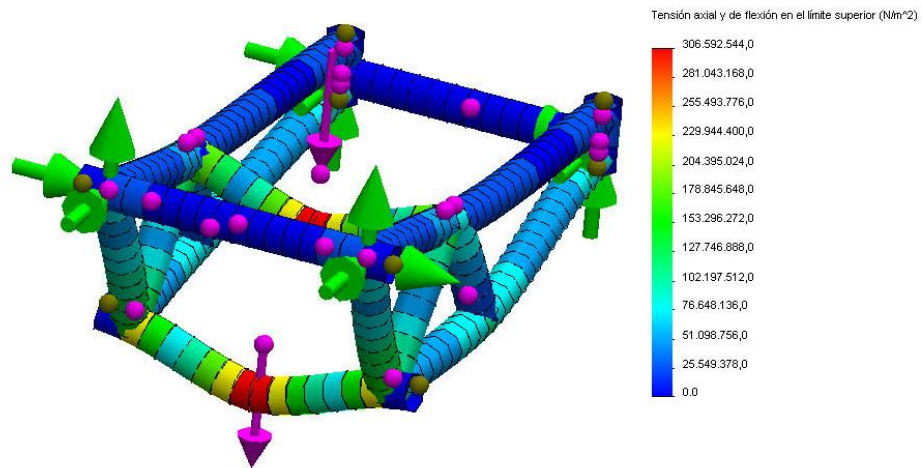


Figura 37. Simulación a tensión con 8000N de carga en cada extremo

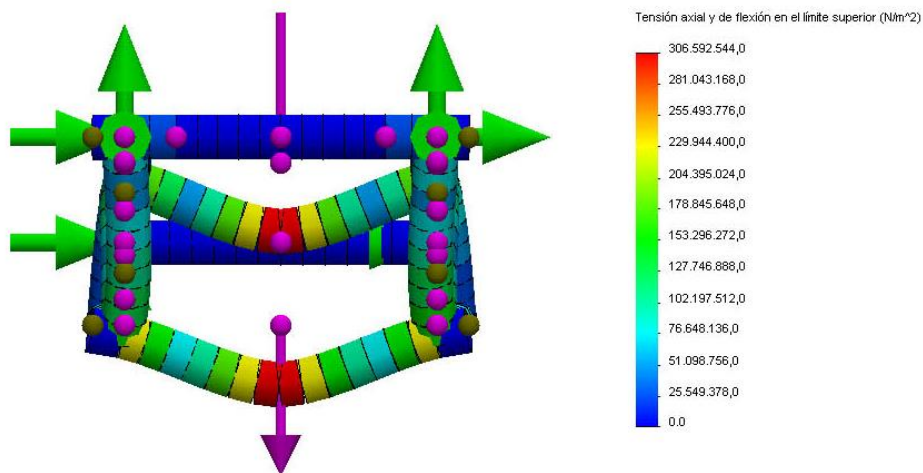


Figura 38. Detalle de la zona crítica

### Conclusiones

Con este diseño se verifica que la fabricación será sencilla puesto que solo hay un plano de montaje. También se verifica una buena triangulación invertida, donde se minimizan los esfuerzos a flexión posibles que puedan sufrir las tubos, y en caso de necesidad, se puede elevar el centro de gravedad añadiendo peso extra a la estructura.

En la simulación aparece una zona muy crítica en comparación a las demás.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

El segundo diseño no es válido debido a la zona crítica, así que se evoluciona sobre el mismo para obtener una solución a dicha zona para que la estructura global sea resistente.

#### 7.4 Diseño final

Después de las conclusiones del segundo diseño, se pretende evolucionarlo para reforzar la zona crítica (marcada en rojo en la siguiente imagen). La idea es reforzar dicha zona mediante:

- Una placa de fibra
- Triangulación en varias disposiciones

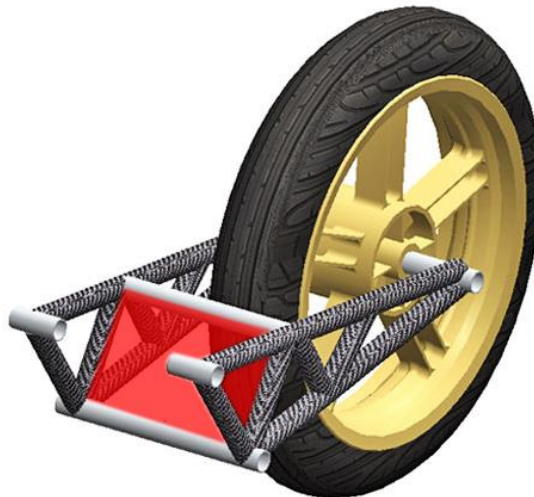


Figura 39. Zona crítica

Como los tubos afectados son de aluminio, una placa de fibra dificultaría su fabricación, ya que se debería de estudiar y determinar otro tipo de unión con estas características. Así que la primera opción se descarta.

En la segunda opción, si se triangula mediante tubos de FdeC, se incorporan uniones nuevas en el conjunto, y más concretamente en la zona rígida, y puesto que las uniones es uno de los puntos más débiles entre el conjunto de tubos y que no hay un espacio excesivo para colocar más tubos de 28mm. de diámetro exterior, se descarta la idea de triangular mediante tubos de fibra.

Se evoluciona el diseño mediante triangulación con tubos de aluminio. Esto presenta varias ventajas:

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

- Utilización del mismo material en la zona crítica
- Menor sección de los tubos
- Proceso de ensamblaje mediante soldadura

Se triangula dicha zona de varias maneras y se realiza una simulación de cada opción para ver la que menos sufre.

- Opción 1: Se triangula la zona crítica con cuatro tubos de aluminio macizas de 15mm. de diámetro exterior, formando una cruz.

Se determina el diámetro de 15mm. ya que es la distancia suficiente que se ajusta a la superficie de la zona crítica para triangular y permitir soldar todos los tubos.

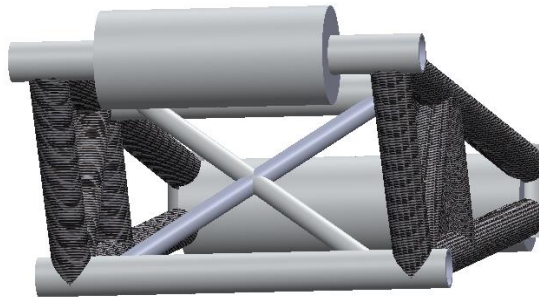


Figura 40. Opción 1 de la zona reforzada

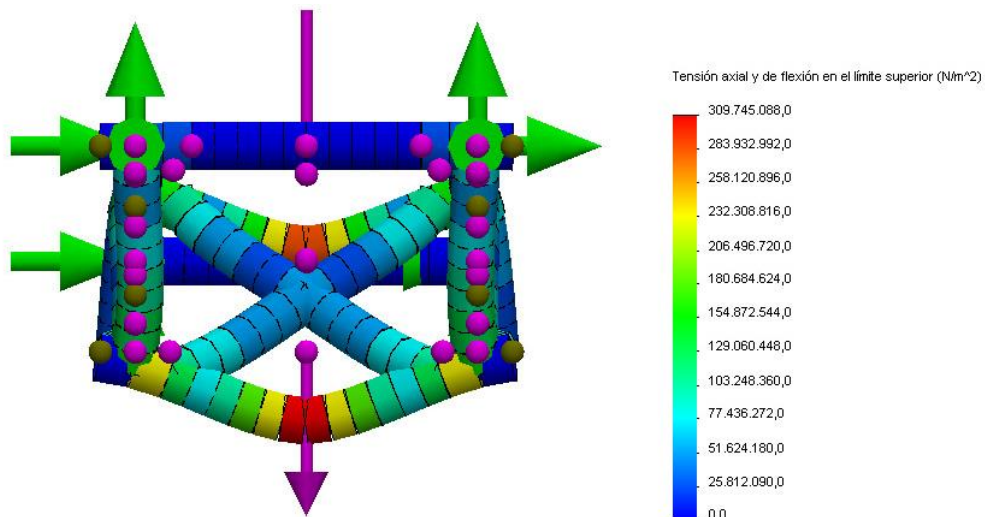


Figura 41. Simulación de la opción 1

De la misma manera que se realiza en el apartado 9.1, se realiza una básica simulación de cargas sobredimensionadas de 8000N en los extremos de la bieleta y del muelle para saber el valor de la tensión máxima que aguantará la estructura.

Se observa que la zona que más sufre, marcada en rojo, tendría que soportar 309MPa a unas cargas aplicadas de 8000N.

- Opción 2: Se triangula la zona crítica con tres tubos de aluminio macizas de 15mm. de diámetro exterior, formando una flecha hacia abajo.

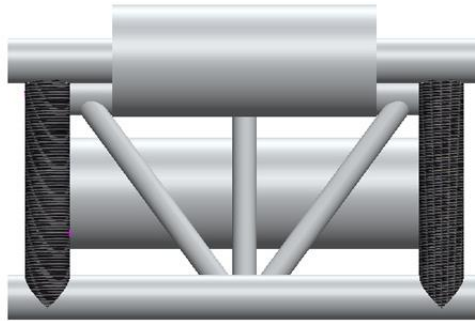


Figura 42. Opción 2 de la zona reforzada

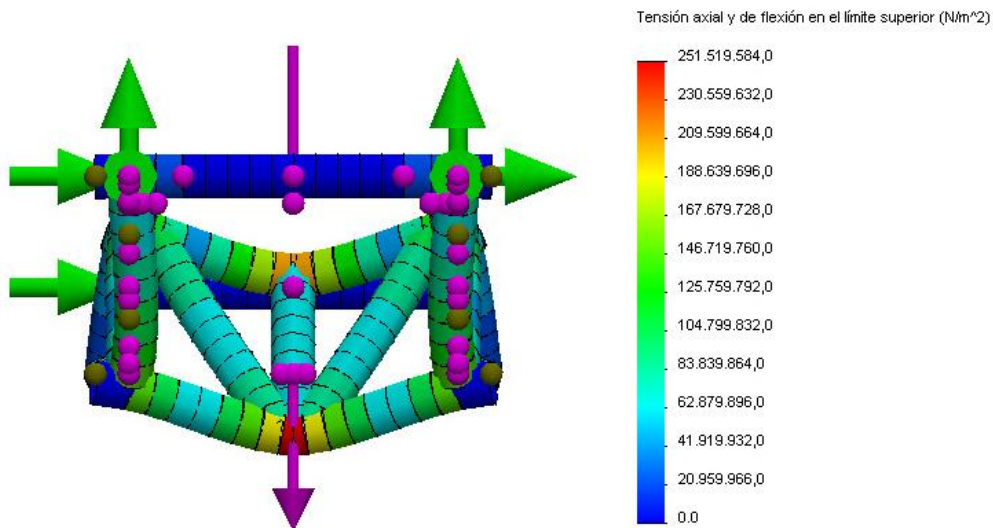


Figura 43. Simulación de la opción 2

De la misma manera que se realiza en el apartado 9.1, se realiza una básica simulación de cargas sobredimensionadas de 8000N en los extremos de la

bieleta y del muelle para saber el valor de la tensión máxima que aguantará la estructura.

Se observa que la zona que más sufre, marcada en rojo, tendría que soportar 251MPa a unas cargas aplicadas de 8000N.

- Opción 3: Se triangula la zona crítica con tres tubos de aluminio macizas de 15mm. de diámetro exterior, formando una flecha hacia arriba.

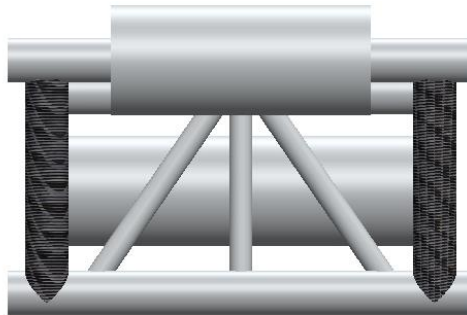


Figura 44. Opción 3 de la zona reforzada

De la misma manera que se realiza en el apartado 7.3, se realiza una básica simulación de cargas sobredimensionadas de 8000N en los extremos de la bieleta y del muelle para saber el valor de la tensión máxima que aguantará la estructura.

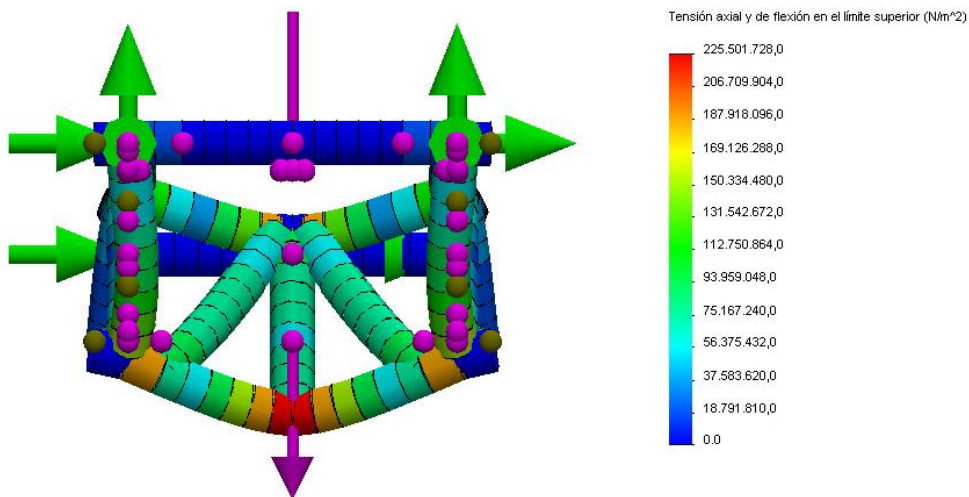


Figura 45. Simulación de la opción 3

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Se observa que la zona que más sufre, marcada en rojo, tendría que soportar 225MPa a unas cargas aplicadas de 8000N.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de las opciones anteriores y del segundo diseño (opción 0) para comparar los resultados de las tres opciones:

Tabla 1. Tabla comparativa de la tensión máxima en la zona crítica

OPCIÓN	ZONA CRÍTICA	TENSIÓN MÁXIMA (MPa)
0	No triangulada	306
1	Triangulada en cruz	309
2	Triangula en flecha hacia abajo	251
3	Triangula en flecha hacia arriba	225

Se observa cómo la triangulación de la opción 1 tiene un diseño ligeramente peor que la opción sin triangular. Queda descartada la opción 1.

Entre la opción 2 y 3 no hay una excesiva diferencia, afirmando que un buen diseño para la zona crítica es la triangulación mediante tres tubos. Se descarta la 2da opción porque la opción 1 soporta menos tensión debido a la posición de los tres tubos.

Teniendo en cuenta el sistema de anclaje de la bieleta y el muelle, los cuales se harán mediante unas orejas, el conjunto del diseño final es de la siguiente manera:

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición*  
Gemma Solé Vilató

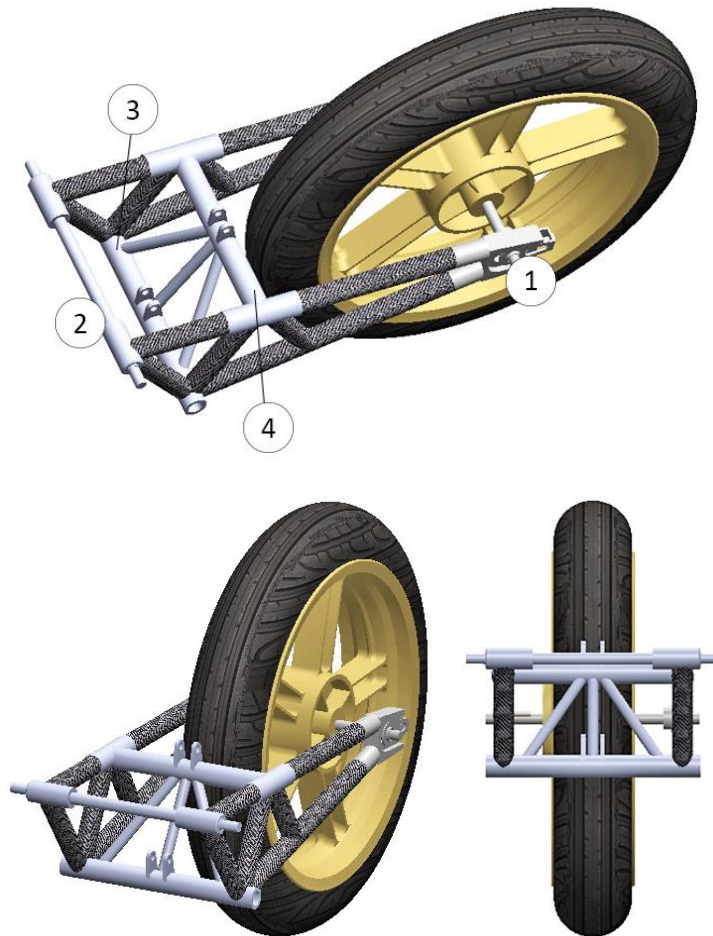


Figura 46. Diseño final

Siendo,

- 1, eje de la rueda
- 2, eje de unión entre el basculante, el bastidor y el motor
- 3, eje de unión con el muelle
- 4, eje de unión con la bieleta

El eje de la rueda y el tensor de la cadena no se consideran piezas propias del basculante. Dichas piezas se concretan en el apartado 8.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

## Conclusiones

La evolución desde el primer diseño hasta el diseño final evoluciona consiguiendo solucionar los aspectos desfavorables que se presentan en cada diseño. De este modo, se valida el diseño final con las siguientes características:

- Facilidad de construcción debido a un solo plano que presenta el diseño
- Diseño reforzado en la zona más crítica
- Mínimas uniones
- Triangulación suficiente para reducir esfuerzos a flexión

### 7.4.1 Uniones

Se distinguen tres tipos de uniones:

- Uniones entre tubos de FdC (1)
- Uniones entre tubo de FdC y eje de aluminio (2)
- Uniones entre tubos de aluminio y ejes del mismo material (3)

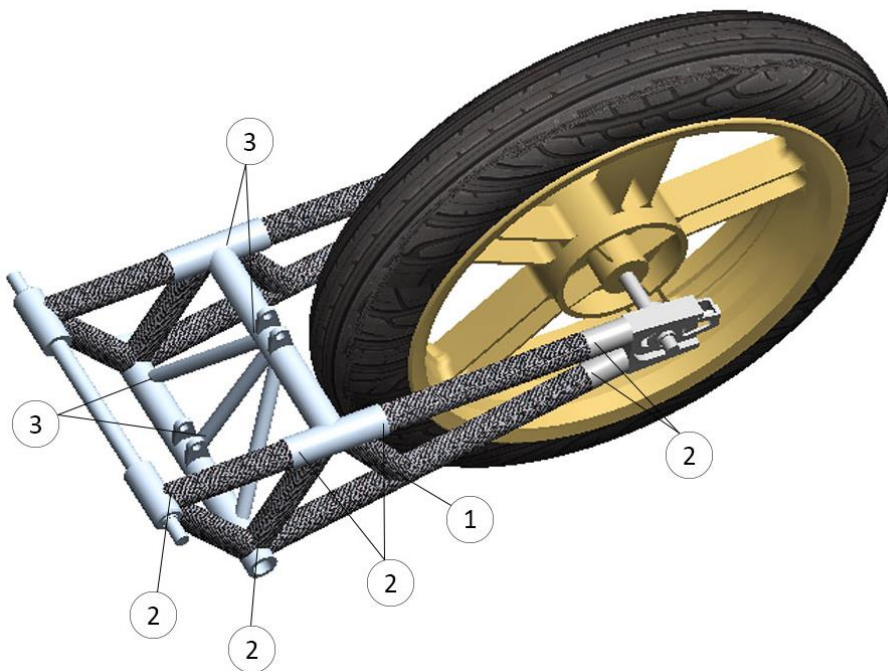


Figura 47. Diferentes uniones



*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Claramente, las uniones entre el mismo material (3) será mediante soldadura de aluminio. De la misma manera que se soldarán las orejas en los ejes de la bieleta y el muelle.

Las partes más críticas del conjunto de la estructura del basculante son las uniones entre tubos de FdeC y entre los diferentes ejes del conjunto, las uniones 1 y 2.

La idea inicial para dichas uniones es mediante casquillos de aluminio encolados, aunque las uniones entre dos tubos de FdeC y un eje de aluminio provocan que se tenga que hacer un casquillo con tres ejes o más, dificultando el mecanizado de dichos casquillos, tal y como aparece en la siguiente imagen:



Figura 48. Detalle de una unión complicada

Este casquillo de aluminio puede realizarse de dos maneras:

- Mecanizando cada tubo y posteriormente soldando, lo que afecta a la unión ya que es una zona crítica que sería ideal que fuera toda ella de una sola pieza, evitando soldaduras innecesarias.
- Mecanizando todo el casquillo mediante control numérico, cuyo proceso incrementa mucho el precio de la pieza.

Ambas opciones no favorecen, ni a la unión ni al equipo. Puesto que la construcción del basculante se realiza en la empresa Nexus projectes, varias reuniones se realizan para

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

estudiar su fabricación. Así que se propone una solución a este tipo de uniones complicadas.

La idea consiste en que todas las uniones donde intervengan más de dos tubos de FdeC, se unan mediante laminado del mismo material. Así que, se tendría dos tipos de uniones además de la soldadura, que serían:

- Unión mediante inserto de aluminio (A)
- Unión mediante laminado (B)

De esta manera, las uniones entre fibra y aluminio serían:

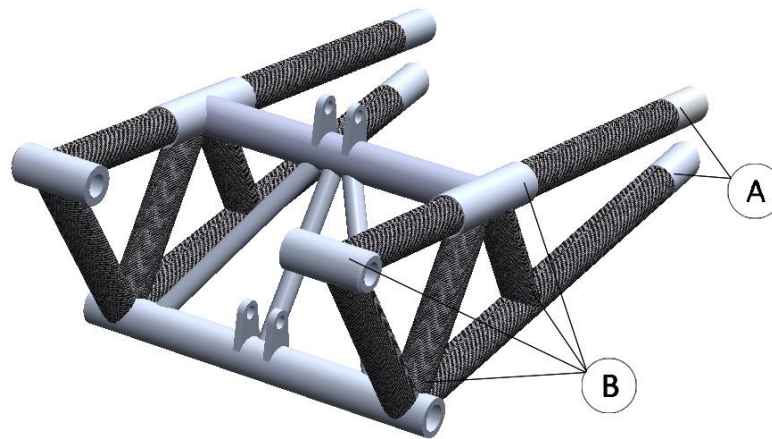


Figura 49. Diferentes tipos de unión en el basculante

En el apartado 11.1.2 se concreta el proceso de fabricación de cada unión.

#### 7.4.2 Listado completo de materiales

En la siguiente tabla se muestra el conjunto de piezas que conforman la estructura del basculante:

Tabla 2. Tabla de materiales del basculante

Denominación	Nomenclatura	Unidades	Material	Dimensiones(mm)	Peso(g)
1-BC	Tubo 1	2	FdeC	163 x $\varnothing$ ext 28	49,35
2-BC	Tubo 2	2	FdeC	134 x $\varnothing$ ext 28	39,415

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

3-BC	Tubo 3	2	FdeC	112 x $\varnothing$ ext 28	30,752
4-BC	Tubo 4	2	FdeC	352 x $\varnothing$ ext 28	113,488
5-BC	Tubo 5	2	FdeC	442 x $\varnothing$ ext 28	142,96
6-BC	Casquillo unión lateral	2	AL 6082 T651	100 x $\varnothing$ ext 32 x $\varnothing$ int 28	52,714
7-BC	Casquillo pivote	2	AL 6082 T651	65,5 x $\varnothing$ ext 30 x $\varnothing$ int 17	87,818
8-BC	Casquillo transversal 1	1	AL 6082 T651	235 x $\varnothing$ ext 30 x $\varnothing$ int 20	242,858
9-BC	Casquillo transversal 2	1	AL 6082 T651	296 x $\varnothing$ ext 30 x $\varnothing$ int 20	326,631
10-BC	Oreja	4	AL 6082 T651	25,4 x 36 x 6	8,618
11-BC	Barra refuerzo lateral	2	AL 6082 T651	160 x $\varnothing$ 15	34,121
12-BC	Barra refuerzo central	1	AL 6082 T651	133 x $\varnothing$ 15	29,833
13-BC	Casquillo tensor cadena inferior	1	AL 6082 T651	102 x 28 x 22	46,278
14-BC	Casquillo tensor cadena superior	1	AL 6082 T651	110 x 28 x 22	51,001

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

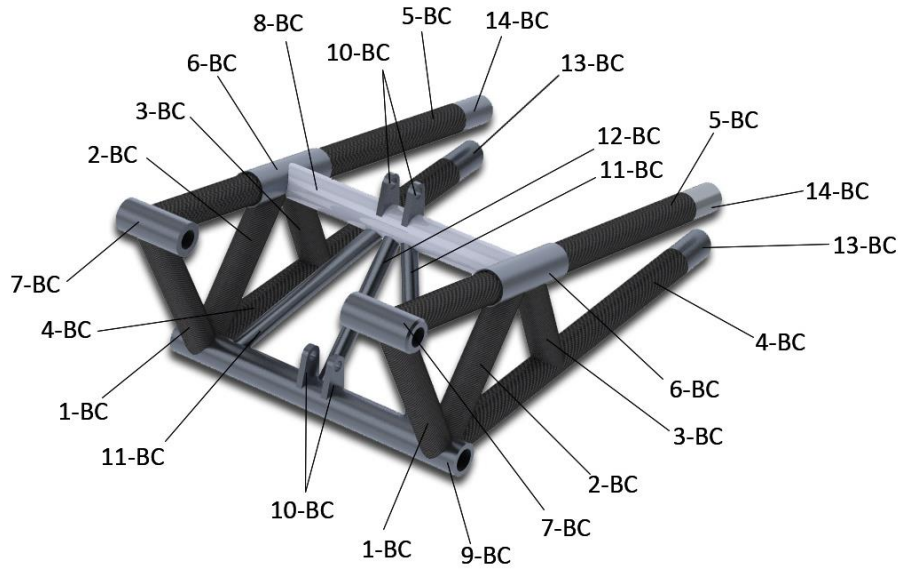


Figura 50. Vista general del basculante

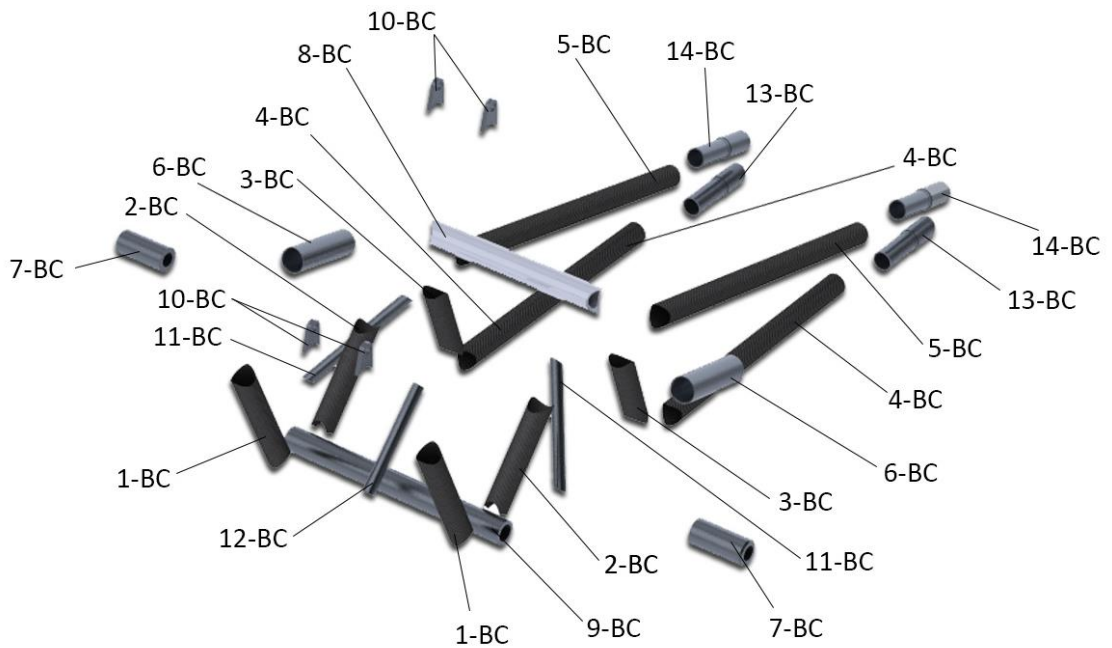


Figura 51. Vista general explosionada del basculante

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

#### 7.4.3 Consideraciones del diseño final

El diseño del basculante es un diseño optimizado, facilitando que los tubos no trabajen a flexión. La zona más crítica esta reforzada mediante unos tubos de aluminio, permitiendo un conjunto del basculante robusto y resistente a los esfuerzos que la motocicleta en pista puede causar.

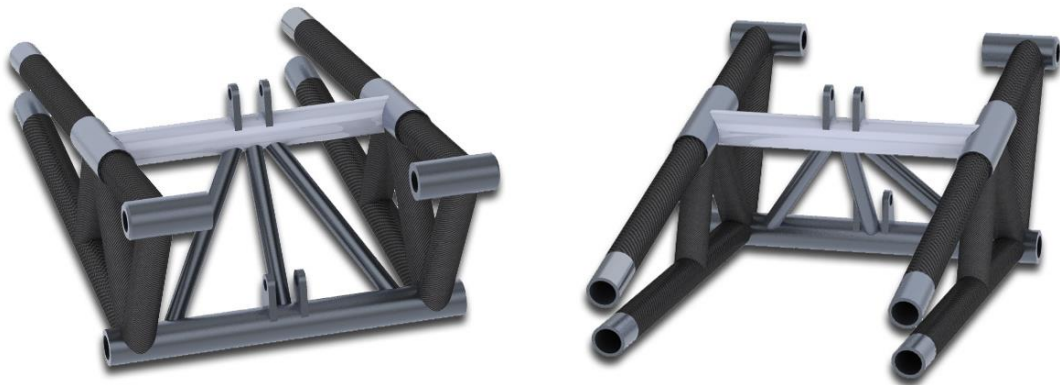


Figura 52. Diseño final

## 8 Diseño de elementos auxiliares

En este apartado se presentan el diseño preliminar de varias piezas que forman el conjunto del tren trasero de la motocicleta, además de los rendes o fotografías de las piezas proporcionadas por la organización de Motostudent y adquiridas por empresas privadas.

### 8.1 Sistema de suspensión trasera

#### Sistema de bieletas

El sistema de bieletas es un sistema de progresividad variable sofisticado, que se endurece a medida que se va comprimiendo.

En este proyecto se ha optado por el diseño y fabricación del sistema de bieletas que utiliza el actual modelo Ducati 1098 por dos razones:

- Comprime el amortiguador por ambos extremos, y por lo tanto, mejora la calidad del efecto de amortiguación.
- Tiene menos masa no suspendida, solo 1/3.

La masa suspendida es la que está apoyada en la parte superior de la suspensión, siendo en una motocicleta toda la moto menos las ruedas, los frenos y parte de los componentes de la suspensión, por lo tanto, la masa no suspendida está compuesta por las ruedas, los frenos y parte de los componentes de la suspensión.

En motocicletas de carrera de poca cilindrada es muy importante que la masa no suspendida sea lo más pequeña posible porque de esta manera la motocicleta tiene más agarre en circuito.

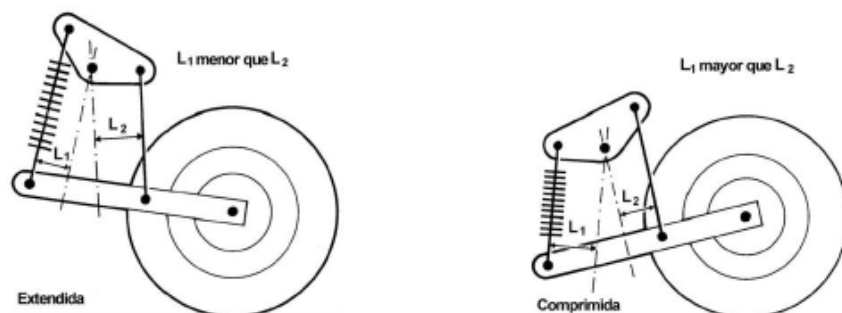


Figura 53. Sistema de bieletas de la Ducati 1098

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición*  
Gemma Solé Vilató

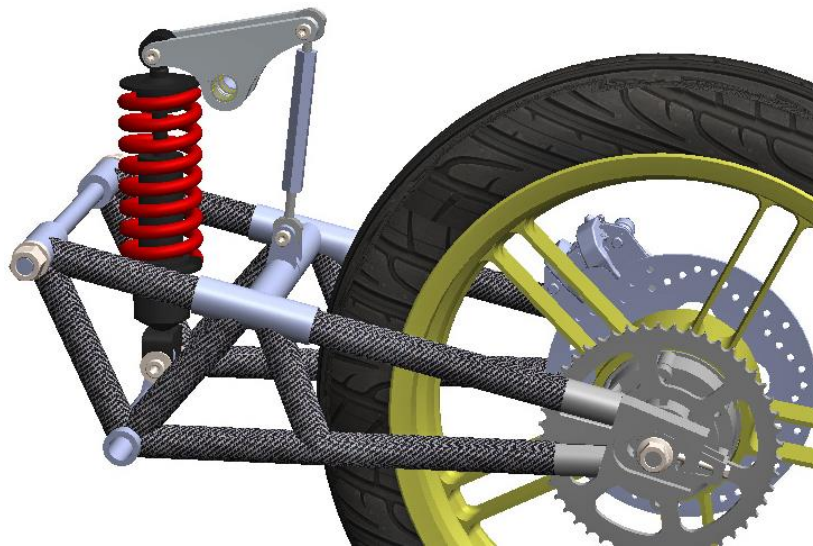


Figura 54. Render del sistema de bieletas

### Suspensión trasera

En esta edición de MotoStudent, la organización proporciona un amortiguador con un muelle sin precarga, con un recorrido entre topes de 54mm, recorrido útil de 50mm, y una constante del muelle de 10,5 Kg/mm.



Figura 55. Suspensión proporcionada por la Organización

## 8.2 Sistema de freno trasero

El sistema de freno trasero de una motocicleta es de una importancia menor que el sistema de freno delantero. Se podría prescindir de estos elementos. La función del sistema de freno trasero es colocar recta la motocicleta justo antes de hacer el paso por curva.

La organización de la competición proporciona la pinza, las pastillas y la bomba de frenos trasera de la marca J.Juan.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

### Pinza trasera y pastillas

La pinza es flotante de dos pistones, cuerpo de aleación de aluminio, pistones de aluminio anodizado duro, para funcionar con líquido de frenos DOT4. Corresponde al modelo *Pinza Flotante 1P 320 91267 022 0*. Anexo a la pinza están las pastillas de freno, adaptadas a las dimensiones de la pinza.



Figura 56. Render de la pinza flotante trasera

### Bomba

La bomba es de pie horizontal, el diámetro del pistón es de 12,7 mm. para funcionar con líquido de frenos DOT4. Corresponde al modelo *Bomba de pie 85031-2740G*.



Figura 57. Render de la bomba de freno trasera



*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

### Latiguillo

El latiguillo del freno trasero es una tubería flexible que transporta el líquido de freno, con presión, a la pinza de freno. Es flexible para permitir que la rueda gire de lado y permita, así, el movimiento de la suspensión.

El latiguillo no es proporcionado por la organización. El equipo MotoSpirit tiene relación con el ex piloto Javier del Amor. Actualmente él es probador de la empresa J.Juan, empresa fabricante de las pinzas, pastillas y bombas de freno que proporciona la organización.

Cuando se finalice el ensamblaje del chasis del prototipo, se pretende desplazarse a las instalaciones de la empresa J.Juan, y junto a Javier del Amor, fabricar un latiguillo concreto y específico para la moto.



Figura 58. Imagen aproximada del latiguillo

### Disco

El disco de freno trasero no es proporcionado por la organización, de tal modo que hay que comprarlo o conseguir que una casa de discos colabore con el equipo.

Las empresas fabricantes de discos de freno se centran en los modelos de las llantas, ya que cada disco de freno es específico para cada motocicleta existente en el mercado. Cada modelo de llanta tiene unos puntos de anclaje distintos para cada disco de freno, por este motivo, sólo podemos optar al disco de freno trasero específico para las llantas del prototipo.

Las llantas es un elemento que proporciona la organización, corresponden al modelo de motocicleta Yamaha YZF 125R. En la siguiente imagen se puede observar la llanta trasera y los puntos de anclaje del disco de freno.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató



Figura 59. Llanta trasera

El equipo se puso en contacto con la empresa Galfer, especializados en sistemas de freno para motos, bicicletas y coche. Colaboraron con el equipo proporcionando dos discos de freno delantero y trasero para el modelo específico de llanta, sin ningún tipo de coste.

El modelo de disco trasero para la llanta es DF527W, de diámetro exterior 230mm, diámetro óptimo recomendado por J.Juan para el buen funcionamiento de la pinza.

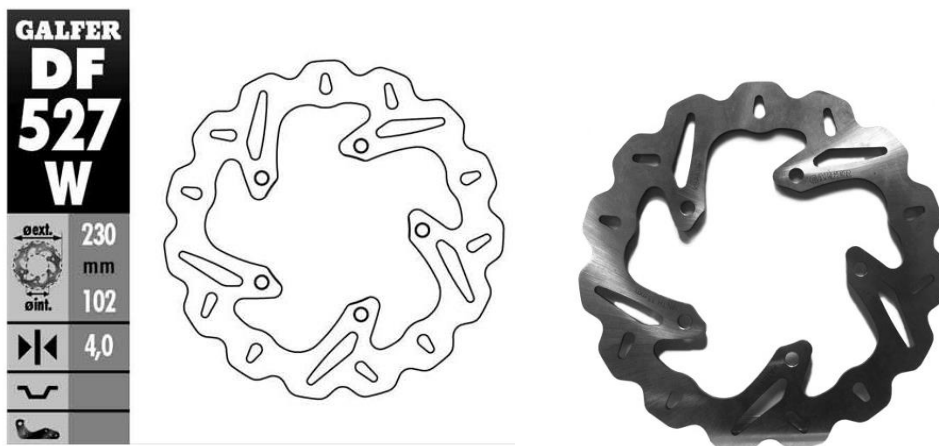


Figura 60. Disco de freno trasero

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

### Soporte para la pinza

El soporte para la pinza no es proporcionado por la organización, de tal modo que hay que comprarlo o diseñar y fabricar uno.

La elección de la compra es difícil, ya que el soporte debe tener los mismos puntos de anclaje de la pinza y alguna distancia específica para anclarlo. Se opta por diseñar y mecanizar el soporte.

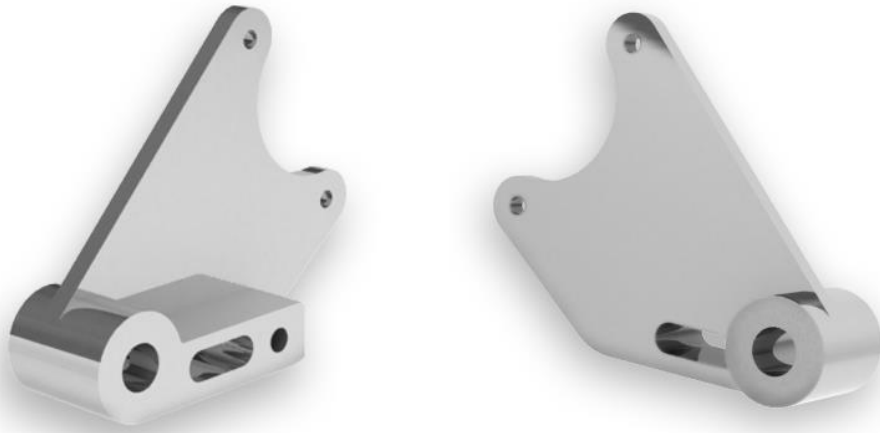


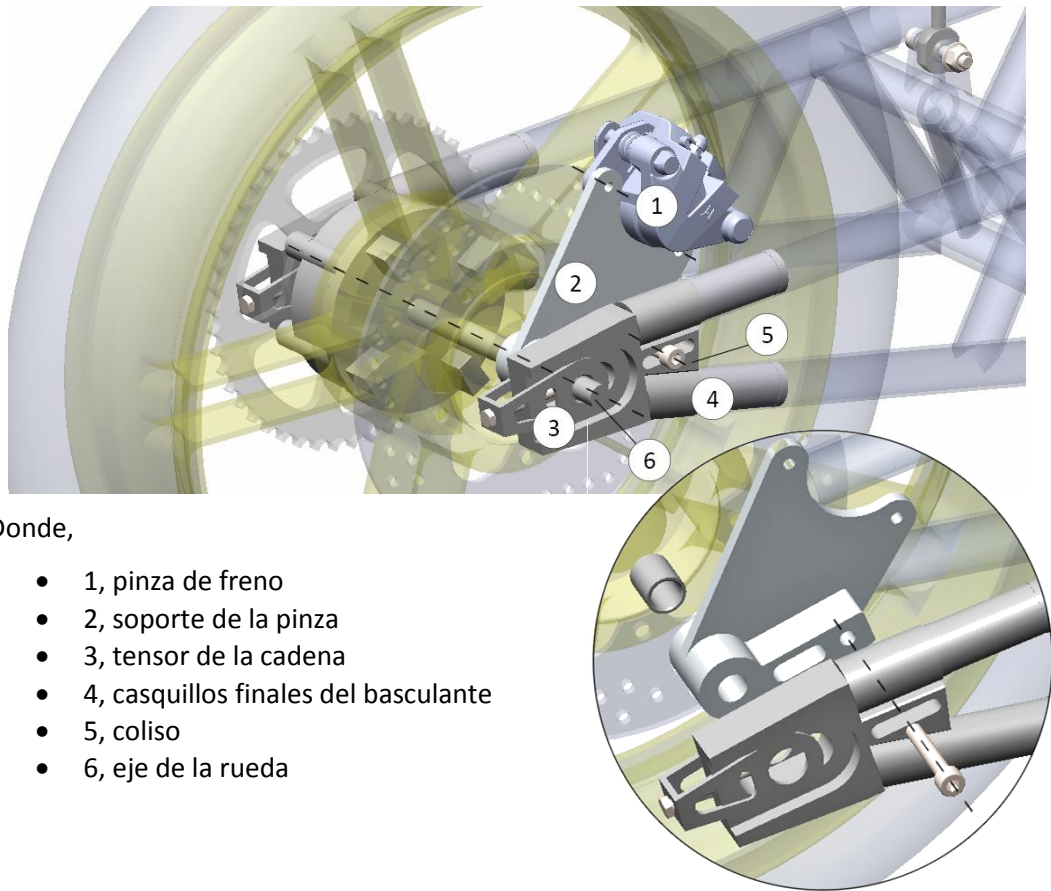
Figura 61. Render del soporte de la pinza de freno trasero

La función del soporte de la pinza es aguantar y posicionar la pinza a unos determinados grados, generalmente a los grados que indique el fabricante de la pinza, en este caso, son 45º respecto la horizontal del suelo. Soporta la pinza mediante unos tornillos de M6.

El soporte debe ir sujeto a otro elemento del tren trasero, en este caso, el orificio mayor es concéntrico al eje de la rueda trasera.

El soporte debe permitir el mismo movimiento longitudinal del eje tensor de la cadena, por este motivo, el orificio menor es roscado, pensado para poner un tornillo de M8 y longitud de 28,5mm. mediante un coliso para guiar el recorrido que puede hacer. Esta longitud es la misma que la longitud permitida para tensar la cadena.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató



Donde,

- 1, pinza de freno
- 2, soporte de la pinza
- 3, tensor de la cadena
- 4, casquillos finales del basculante
- 5, coliso
- 6, eje de la rueda

Figura 62. Vista del conjunto y detalle del soporte y el coliso

### 8.3 Otros elementos

#### Tensor de la cadena

El tensor de la cadena es un elemento situado al final del basculante y solidario al eje de la rueda trasera. Su función es tensar la cadena mediante un pequeño recorrido dirigido por un elemento roscado. Este no es proporcionado por la organización, así que el equipo establece colaboración con el desguace Motodesguace EDP, que proporciona un tensor de cadena.

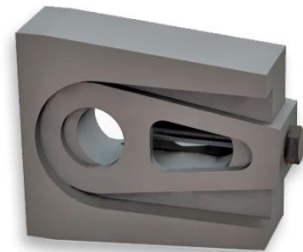


Figura 63. Tensor de la cadena

## 9 Cálculo del basculante

Con el fin de llevar a cabo los análisis del modelo final del basculante, se utilizará una herramienta informática muy útil y eficaz, que en este caso es la misma con la que se ha diseñado el conjunto total del prototipo. Se trata del software Solidworks, un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) para el modelaje y simulación mecánica, de la empresa Dassault Systèmes diseñado originalmente para el sistema operativo Windows.

Los cálculos que se llevan a cabo es el comportamiento del basculante a tensión en situación de aceleración cuando la estructura trabaja a flexión y en situación de paso por curva cuando la moto no acelera.

En la situación de máxima frenada, todo el peso de la moto se dirige hacia la rueda delantera, incrementando la carga del tren delantero y disminuyendo la del tren trasero. Incrementando la fuerza total de frenada, la carga en la rueda trasera llega a ser cero. Por este motivo, el cálculo en situación de máxima frenada se desestima en las situaciones de cálculo del basculante.

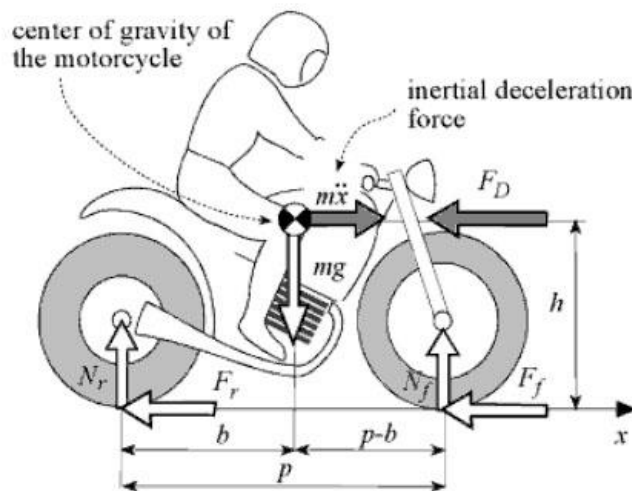


Figura 64. Motocicleta en condiciones de frenada

### 9.1 Aceleración

Existen dos situaciones que nos limita la aceleración máxima de la motocicleta, una primera en la que disponemos de una tracción limitada, cuando el coeficiente de rozamiento entre el neumático y el firme es insuficiente (el neumático trasero comienza a patinar) y otra, cuando la rueda delantera comienza a despegar del suelo.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

Durante la aceleración, la carga del tren trasero se incrementa, mientras que ocurre lo contrario en el tren delantero.

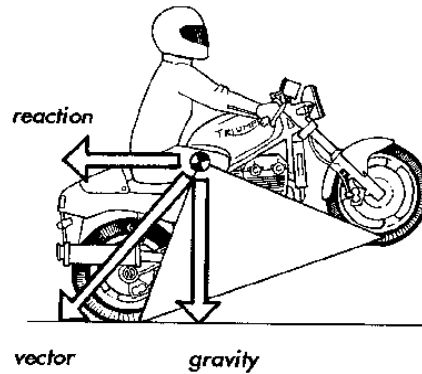


Figura 65. Aceleración limitada por el levantamiento de la rueda delantera

Cuando la motocicleta acelera, aun siendo simétrico el basculante, debido a la fuerza que genera la cadena de transmisión, el basculante trabaja a flexión o a torsión. Además, la conducción del piloto y las irregularidades del firme son aspecto que influye en la aceleración, aunque en este caso no se tienen en cuenta. En este proyecto se calcula el esfuerzo a flexión que soporta el basculante en situación de aceleración.

#### Datos de partida

Cuando la motocicleta se encuentra en aceleración, se supone que la rueda delantera está suspendida en el aire mientras que la rueda trasera carga con todo el peso de la moto y del piloto.

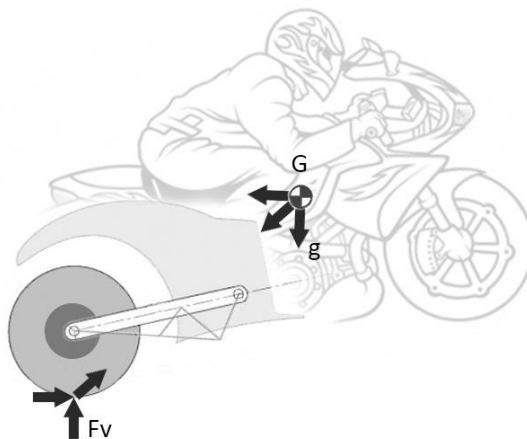


Figura 66. Fuerzas debidas a la aceleración

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

El peso de la moto es de 95Kg, peso mínimo que la organización acepta en la competición. El peso real del piloto es de 70Kg, por lo tanto se tiene un peso total de:

$$P_m + P_p = P_T = 95Kg + 70Kg = 165Kg$$

Debido a la gravedad (g), obtenemos el valor de la Fuerza vertical (Fv), que se produce en la rueda trasera.

$$F_V = P_T \cdot g = 165Kg \cdot 9,81 = 1618,65N \approx 1600N \rightarrow F_V = \mathbf{1600N}$$

Se supone que el basculante es perpendicular al origen del suelo, por lo tanto, la bieleta y la suspensión se consideran indeformables perpendiculares al suelo, provocando fuerzas verticales que contrarrestan Fv, y a consecuencia, la fuerza horizontal del neumático trasero se anula y de manera esquemática, se obtiene el siguiente diagrama de fuerzas:

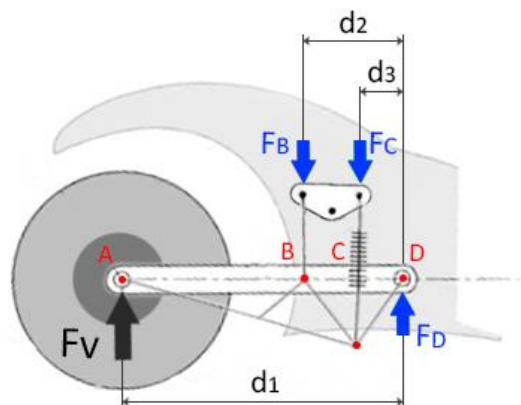


Figura 67. Diagrama de fuerzas

Siendo,

- $d_1=0,530m$ .
- $d_2=0,184m$ .
- $d_3=0,090m$ .

Se supone que FB y FC son iguales porque la distancia de las fuerzas al centro del balancín es la misma.

Aplicando sumatorio de momentos en el punto D, se obtienen las fuerzas FB y Fc

$$\Sigma M_D = 0$$

$$-F_V \cdot d_1 + F_B \cdot d_2 + F_C \cdot d_3 = 0$$

$$-1600 \cdot 0,530 + F_B \cdot 0,184 + F_C \cdot 0,090 = 0$$

$$F_B = F_C = 3094,89$$

### Simulación a tracción

A continuación se calcula la tensión máxima que puede soportar el basculante en la situación de flexión en la aceleración. Las fuerzas a aplicar son las calculadas anteriormente, siendo  $F_B$  la fuerza en el eje de la bieleta, y  $F_C$  la fuerza en el eje del muelle.

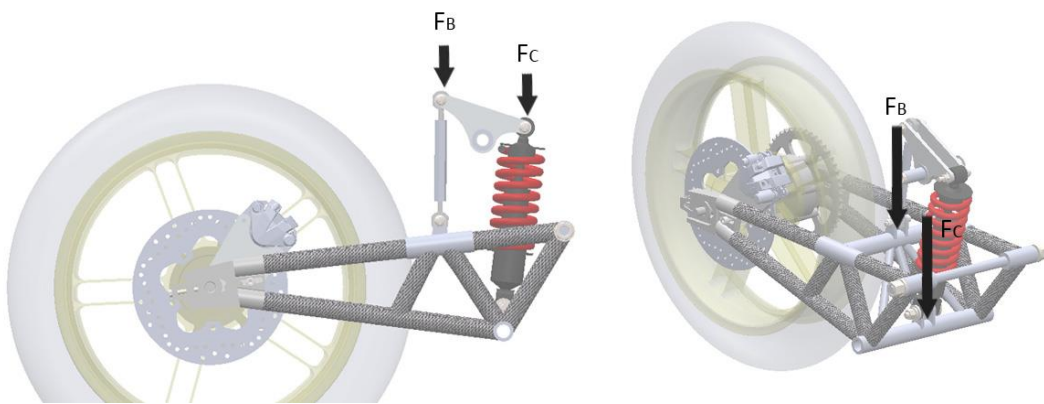


Figura 68. Esquema de las fuerzas del balancín que recaen en el basculante

Se suponen indeformables el motor y el eje de la rueda, por este motivo, estas dos tubos tienen secciones sobredimensionadas en comparación al resto de tubos.

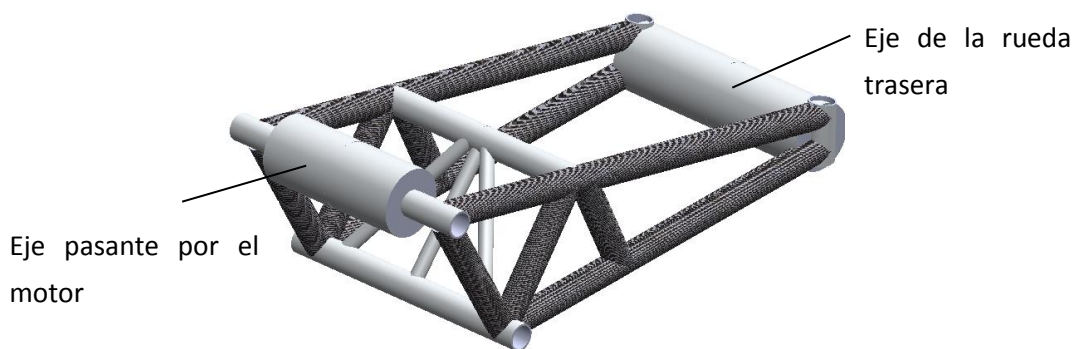


Figura 69. Diseño final para analizar

El basculante es tubular de FdeC, con un refuerzo tubular de aluminio. En la imagen anterior se ilustra de manera gráfica los tubos de FdeC y las de aluminio.



*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Los tubos de FdeC tienen una disposición de las fibras estudiada y valorada para la funcionalidad del basculante. Dichas tubos trabajan a compresión, tracción, flexión y torsión.

La configuración de las fibras es del 75% a 0° y el 25% restante a +- 45°. Analizando la tipología de esfuerzo que tenemos, podemos afirmar que más del 75% de las fibras están orientadas en la dirección de máxima sollicitación.

El software que se utiliza para el cálculo realiza un mallado lineal y/o tetraédrico, proporcionando en cada cara de la línea o del tetraedro del material, la misma fuerza en todos los sentidos. Lo especial de la FdeC es que pueden distribuirse las fibras en la dirección de trabajo de la pieza, por lo tanto, no tendrá la misma fuerza en todas las caras. Por este motivo no se puede calcular en Solidworks una estructura de FdeC, pero si se puede realizar una aproximación.

En las propiedades del material, se añade el límite elástico de la FdeC proporcionado por el proveedor de las tubos, que corresponde a 570MPa, tal y como aparece en el anexo I.

A partir de este momento, se puede dar inicio al cálculo de la estructura del basculante.

Inicialmente se define el grupo de juntas del basculante, operación que divide el conjunto en varios nodos. Dichos nodos son en los que se colocan las restricciones de movimiento y las cargas.

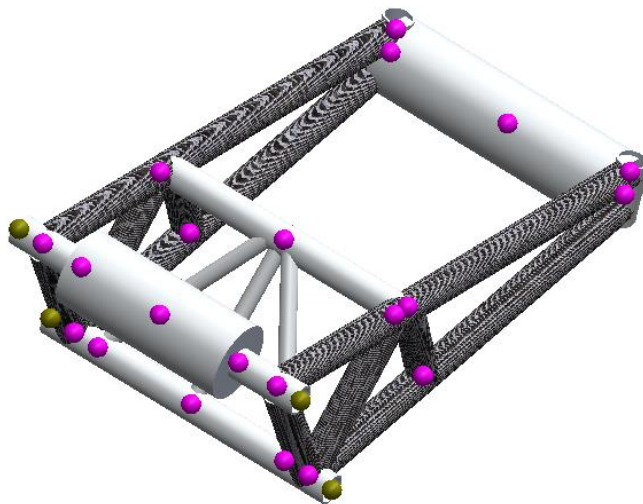


Figura 70. Nodos del basculante

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Seguidamente se define el tipo de sujeción, es la forma en la que la pieza se va a comportar después de que se le aplique alguna carga. Se le aplica sujeción Inamovible (sin traslación), donde la sujeción se encuentra fija en ese nodo y solo puede moverse pivotando dicho nodo.

Las sujeciones se determinan en los extremos del eje de la rueda trasera, y en los extremos del eje pivotante del basculante con el motor.

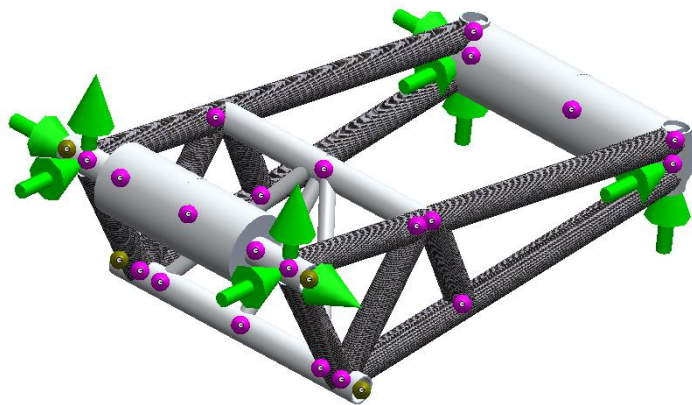


Figura 71. Sujeción del basculante

Posteriormente se definen las cargas, para identificar las que actuaran sobre el modelo a estudiar. Se aplica una fuerza vertical hacia abajo de 3095N en el punto de apoyo del muelle, y se aplica otra fuerza de igual dirección y fuerza en el punto de apoyo de la bieleta.

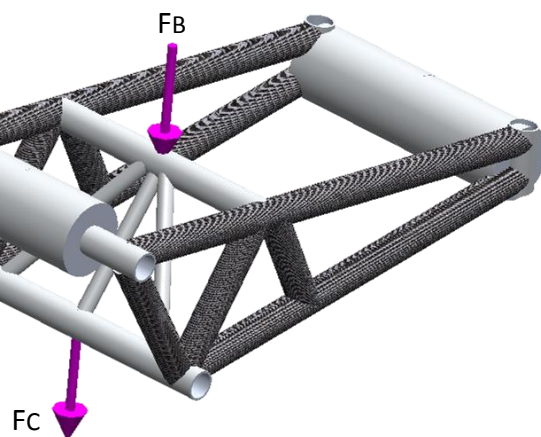


Figura 72. Fuerzas aplicadas en el basculante

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

El siguiente paso es el mallado del basculante. Se ha comentado anteriormente que el mallado que proporciona el software no es funcional para simular la FdeC. Aun así, se calcula la tensión más crítica para tener una orientación de los resultados.

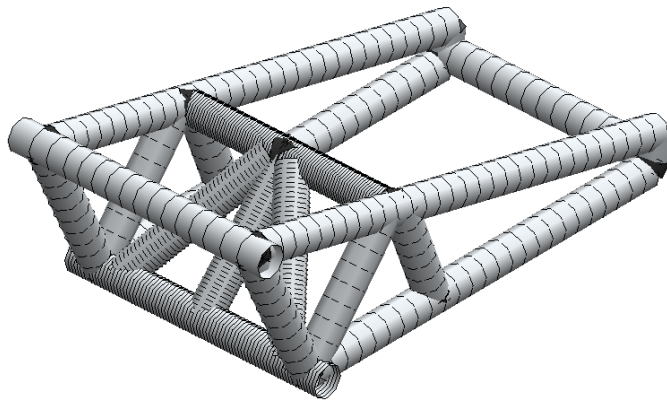


Figura 73. Mallado del basculante

### Resultados

La tensión máxima que soporta el basculante es de 89.248.368,0 N/m<sup>2</sup>

$$89.248.368,0 \text{ N/m}^2 = 89,25 \text{ MPa} \approx \mathbf{90 \text{ MPa}}$$

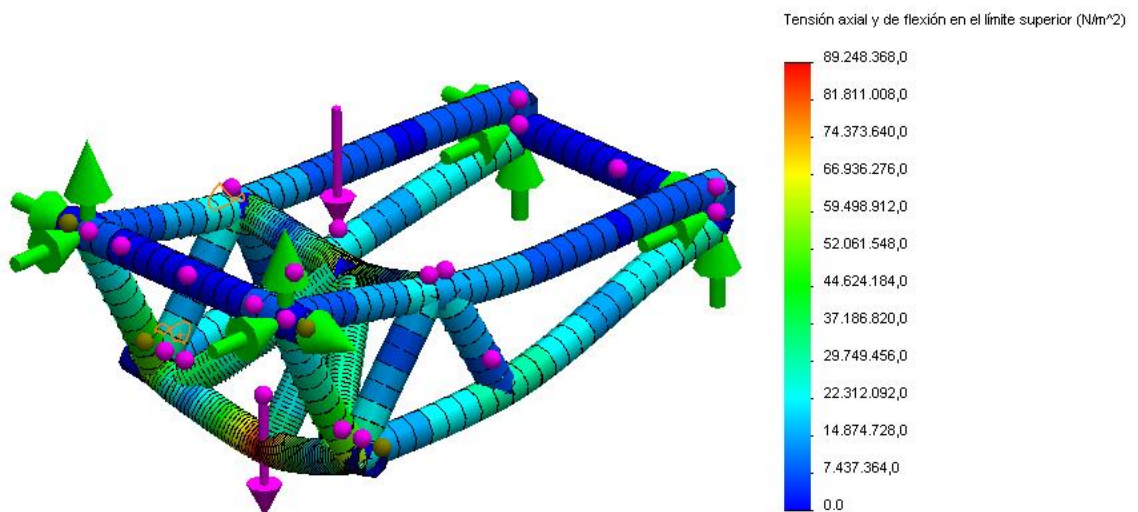


Figura 74. Resultado de la simulación

La tensión máxima se encuentra localizada en la zona de unión con el extremo inferior del muelle.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

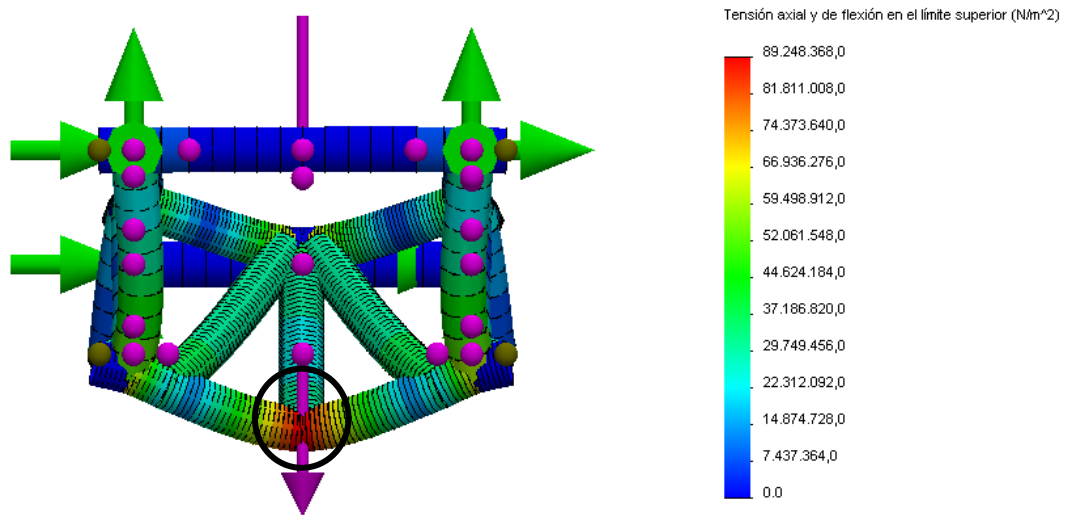


Figura 75. Sección de máxima tensión

### Conclusión

Teniendo en cuenta de que la zona donde más sufre es donde se encuentra el refuerzo de aluminio, y dicho aluminio es el AL 6082 T651, su límite de rotura es de 295MPa, tal y como se muestra en el anexo 1, por lo tanto, dicho material aguantará las cargas aplicadas en el basculante.

Incluso si la zona reforzada fuera de FdeC, con un límite elástico de 570MPa, tal y como se muestra en el anexo 1, aguantaría las cargas aplicadas. Aunque esta situación de aceleración no es la más crítica, ya que también puede verse afectada por la conducción del piloto y las irregularidades del suelo, la decisión de que la zona de refuerzo sea de aluminio es buena, para asegurar de que dicha zona antes de romper se deformará en caso de cargas extremas.

Además, el límite elástico de la FdeC que corresponde a 570MPa es con una disposición de las fibras del 50% a 0º y del 50% restante a 90º. La configuración de las fibras real que se utilizará para la construcción del basculantes es del 75% a 0º, y el 25% restante repartidas a partes iguales entre +- 45º. Esto significa que el límite elástico de la configuración real es mayor que la configuración inicial, por lo tanto, en el cálculo se ha definido un valor menor que el que le corresponde.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

En una dirección determinada, las propiedades básicas de FdeC son mejores que las del aluminio porque hay más del 75% de las fibras en esa dirección.

Teniendo en cuenta de que la zona crítica es de aluminio, se puede calcular el coeficiente de seguridad, siendo:

$$\frac{295MPa}{90MPa} = 3,28 \approx \mathbf{3,3}$$

Si se supone que la zona crítica es de FdeC, se puede calcular el coeficiente de seguridad, siendo:

$$\frac{570MPa}{90MPa} = 6,33 \approx \mathbf{6,3}$$

Los valores obtenidos son sólo orientaciones para tener un orden de magnitud sobre las tensiones y cargas que se soportaran.

Se concluye afirmando que el basculante tiene un buen diseño estructural en situación de aceleración cuando se somete a flexión.

### Simulación a deformación

La FdeC tiene un alto límite de elasticidad, y carece de deformación plástica, por lo tanto, sobrepasado el límite elástico, el material se rompe. En comparación, el aluminio tiene un bajo límite elástico, pero si tiene zona plástica, así que antes de romper, se deforma.

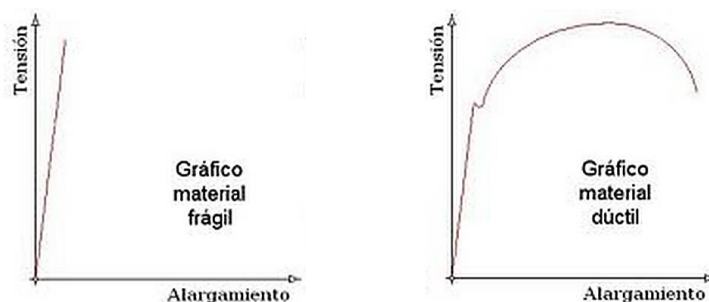


Figura 76. Curva de tensión alargamiento de material frágil y material dúctil

En la anterior ilustración aparecen los gráficos de tensión/deformación típicos de un material frágil, como la FdeC, y dúctil, como el aluminio.

Debido a este motivo, se desprecian las minuciosas deformaciones que la FdeC pueda tener, y por consiguiente, no puede calcularse la rigidez del material con el software empleado.

## 9.2 Paso por curva

En el paso por curva de una motocicleta, el piloto inclina la motocicleta hacia el interior de la curva, desplazando el centro de gravedad hacia abajo para mantener un mayor agarre y control durante este tipo de tramos en el circuito.

Antes de la entrada en una curva, le piloto frena, deja de acelerar y se inclina para trazar la curva, seguidamente sigue sin acelerar cuando se producen esfuerzos de flexión en el basculante, y posteriormente acelera para salir de la curva, momento en que se producen esfuerzos a tracción en la estructura debido a la fuerza que genera la cadena, encargada de que aparezca una fuerza vertical hacia la dirección contraria al suelo que empuja a la motocicleta a ponerse en vertical respecto del suelo.

En este proyecto se calculan las fuerzas a flexión que aparece en el basculante en situación de paso por curva mientras el piloto no acelera.

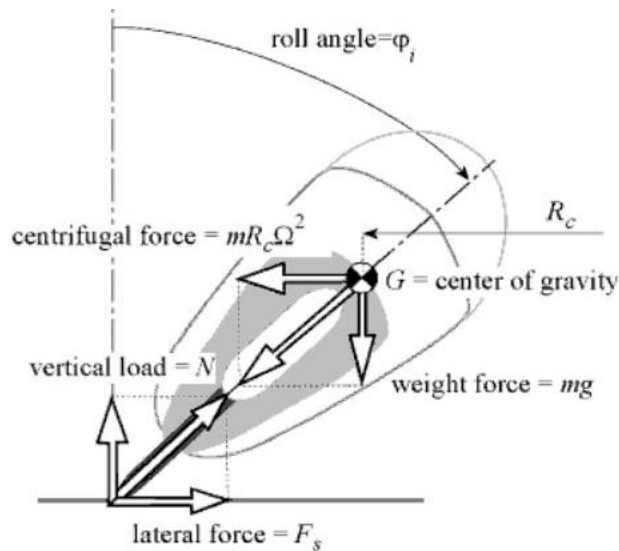


Figura 77. Fuerzas durante el paso por curva

En la imagen anterior se observa la parte trasera de una motocicleta y las fuerzas que influyen durante el paso por curva cuando se supone que el neumático es plano.

Cuando la moto está tumbada en el ápice de la curva, hay dos fuerzas en el centro de gravedad, el peso (masa x gravedad) y la fuerza centrífuga, que empuja a la moto hacia el exterior de la curva. La fuerza centrífuga es una fuerza ficticia que se contrarresta con la fuerza centrípeta, la cual está dirigida hacia el centro de la curvatura.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Si el neumático no es plano, para mantener el equilibrio en la huella de contacto del mismo, se tiene una componente vertical igual al peso, y una horizontal igual a la fuerza centrífuga. De estas dos fuerzas se puede sacar una resultante que pasaría por el centro de gravedad. Esta resultante es la que comprime las suspensiones en las curvas. Esa compresión se produce siempre que pasamos tumbados por una curva.

### Datos de partida

Para llevar a cabo el análisis deseado se necesitan unos cálculos previos que permitan conocer las fuerzas a aplicar en los extremos del basculante.

Se necesita conocer el radio de curvatura del paso por curva, para ello, se selecciona una curva del trazado nacional de motocicletas del circuito de Motorland, circuito dónde tendrá lugar el evento MotoStudent, siendo  $r=172m$ .

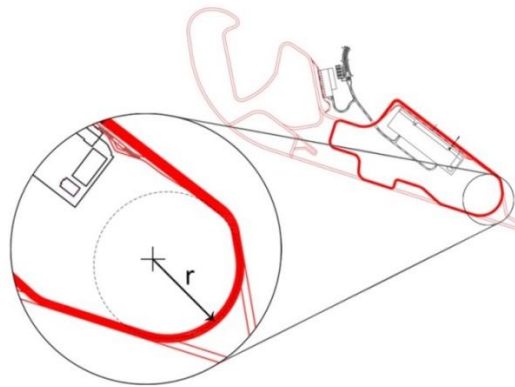


Figura 78. Curva de referencia del trazado del circuito de Motorland

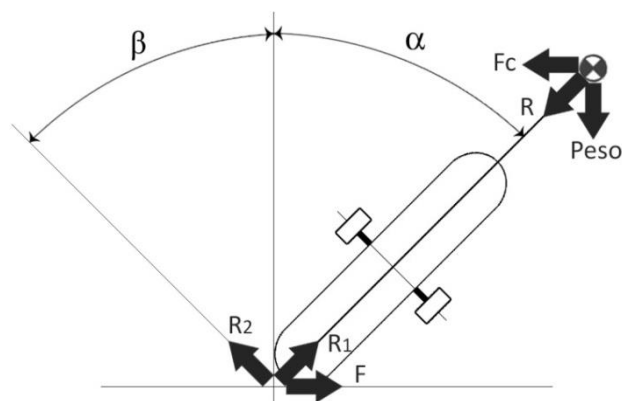


Figura 79. Fuerzas existentes durante el paso por curva

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

Suponemos que el neumático es plano, y que la motocicleta realiza un paso por la curva a una velocidad de 100Km/h y con un ángulo de inclinación ( $\alpha$ ) de 50°.

$$100 \frac{Km}{h} \cdot \frac{1000m}{1Km} \cdot \frac{1h}{3600s} = 27,78 \frac{m}{s}$$

Se obtiene un peso (P),

$$P = m \cdot g = 165Kg \cdot 9,81 = 1618,65N$$

La fuerza centrífuga (Fc) es,

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot \left(\frac{v}{r}\right)^2 \cdot r = m \cdot \frac{v^2}{r} = 165 \cdot \frac{27,78^2}{172} = 740,32Kg \cdot \frac{m}{s^2} = 740,32N$$

Se tiene,

$$F_c = P \cdot \frac{v^2}{r} = 1618,65 \cdot \frac{27,78^2}{172} = 7262,548N$$

Con dicha fuerza y el ángulo de inclinación de la motocicleta, se encuentran R1 y R2.

$$R_1 = \frac{F_c}{\cos\alpha} = \frac{740,32}{\cos 50} = 767,198N$$

$$R_2 = \frac{F_c}{\cos\beta} = \frac{740,32}{\cos 40} = -111,028N$$

Se realiza un diagrama de fuerzas para obtener las fuerzas que se aplican en el basculante,

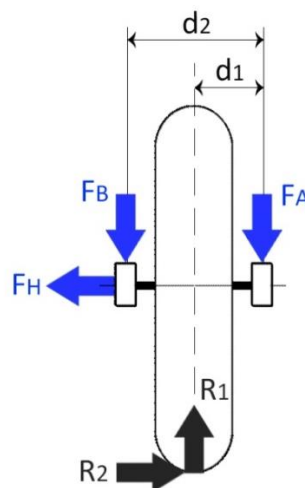


Figura 80. Diagrama de fuerzas



Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

Siendo,

- $d_1=0,123\text{m}$ .
- $d_2=0,246\text{m}$ .

Debido a que el basculante es simétrico,  $F_A$  Y  $F_B$  son iguales.

Aplicando sumatorio de momentos en el punto A, se obtienen las fuerzas  $F_A$  y  $F_B$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_1 \cdot d_1 + F_B \cdot d_2 = 0$$

$$-767,198 \cdot 0,123 + F_B \cdot 0,246 = 0$$

$$F_B = F_A = 383,599\text{N}$$

$$\Sigma F_V = 0$$

$$R_2 - F_H = 0 \rightarrow F_H = 1110,028\text{N}$$

#### Ensayo a tracción

A continuación se calcula la tensión máxima que puede soportar el basculante en la situación de paso por curva. Las fuerzas a aplicar son las calculadas anteriormente, siendo  $F_A$  y  $F_B$  las fuerzas encargadas de hacer que el basculante trabaje a flexión, y  $F_H$  la fuerza horizontal, aplicadas todas ellas en el eje de la rueda.

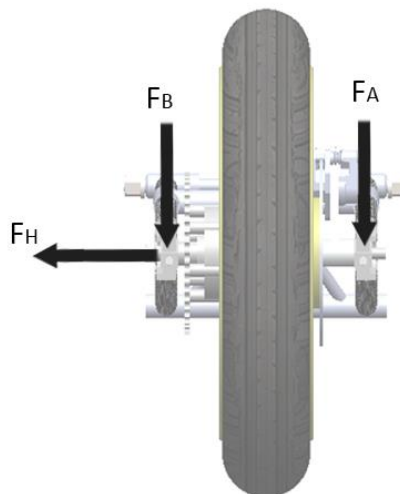


Figura 81. Esquema de las fuerzas del balancín que recaen en el basculante

Los pasos a seguir son los mismos que en la situación de máxima aceleración. Se añade un límite elástico del material de **570MPa**, se define el grupo de juntas, el tipo de

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

sujeción, determinadas en los extremos del eje pivotante del basculante con el motor, se definen las cargas en el eje de la rueda trasera, y finalmente se procede al mallado.

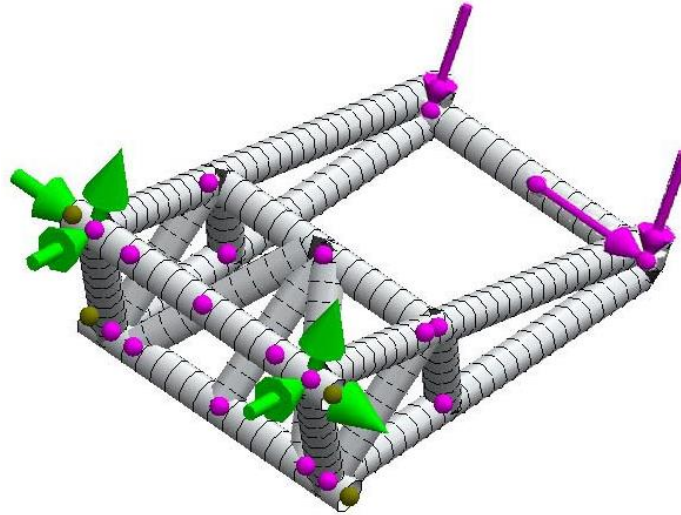


Figura 82. Conjunto de nodos, sujeciones, cargas y mallado

### Resultados

La tensión máxima que soporta el basculante es de 83.819.488,0 N/m<sup>2</sup>

$$83.819.488,0 \text{ Nm}^2 = 83,82 \text{ MPa} \approx \mathbf{83 \text{ MPa}}$$

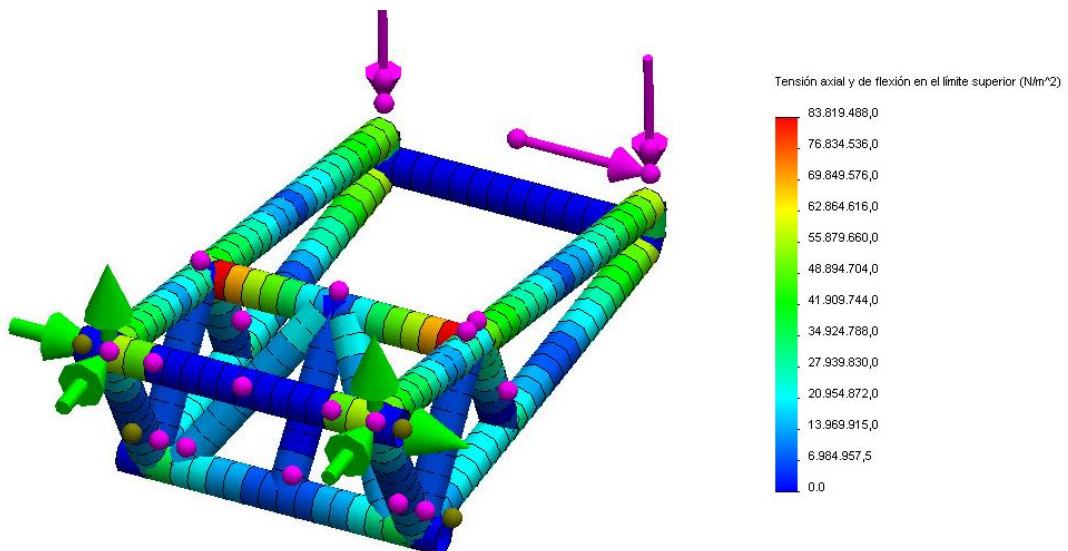


Figura 83. Vistas del resultado de la simulación

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

La tensión máxima se encuentra localizada en los extremos del eje donde se encuentra el muelle.

### Conclusiones

Este cálculo se concluye afirmando que el basculante, sometido a cargas a un conjunto de cargas calculadas en situación de paso por curva, mientras la motocicleta no acelera justo después de entrar en una curva, y teniendo en cuenta que el límite elástico de la FdeC es de 570MPa y el límite elástico del aluminio 6082 es de 295MPa, aguantará hasta una tensión máxima de 183MPa.

En una dirección determinada, las propiedades básicas de FdeC son mejores que las del aluminio porque hay más del 75% de las fibras en esa dirección.

Teniendo en cuenta de que la zona crítica es de aluminio, se puede calcular el coeficiente de seguridad, siendo:

$$\frac{295MPa}{83MPa} = 3,55 \approx \mathbf{3,6}$$

Si se supone que la zona crítica es de FdeC, se puede calcular el coeficiente de seguridad, siendo:

$$\frac{570MPa}{83MPa} = 6,86 \approx \mathbf{6,9}$$

Los valores obtenidos son sólo orientaciones para tener un orden de magnitud sobre las tensiones y cargas que se soportaran.

Se concluye afirmando que el basculante tiene un buen diseño estructural en situación de paso por curva explicada anteriormente.

## 10 Ensayos experimentales

La mayor dificultad durante el desarrollo del basculante son las uniones entre tubos de FdeC y entre insertos de aluminio. Tras realizar todo tipo de diseños y valorar cada uno de ellos se estimó por viabilidad constructiva y económica que la mejor solución en este aspecto es la utilización de dos tipos de uniones: insertos de aluminio o sobre laminado.

### 10.1 Uniones mediante insertos de aluminio

Como se ha comentado en el apartado 5.1, las uniones mediante insertos metálicos se realizan con la finalidad de solucionar las diferentes uniones en las que se precisa de soldadura, como el extremo final del basculante y el refuerzo metálico del mismo.

Se trata de mecanizar unos casquillos que irán introducidos y fijados dentro de las tubos de FdeC mediante adhesivo estructural. Debido al aporte térmico que existe en la soldadura, este adhesivo estructural puede verse afectado.

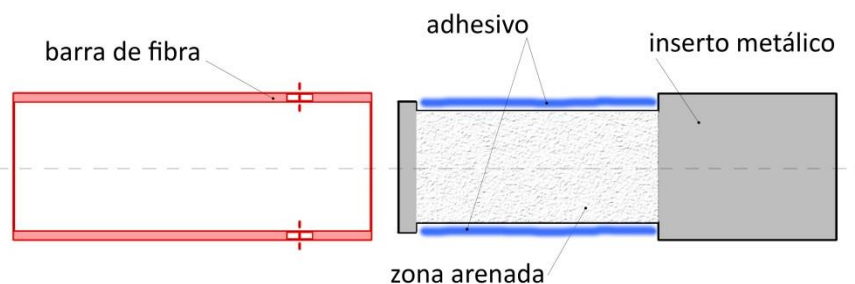


Figura 84. Esquema de los componentes

#### Ensayo a tracción

Con el fin de valorar y poder caracterizar este tipo de unión, se realiza un ensayo a tracción para observar el comportamiento del adhesivo desde el punto de vista de la sollicitación, así como cuantificar la resistencia que pueda proporcionar.

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

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

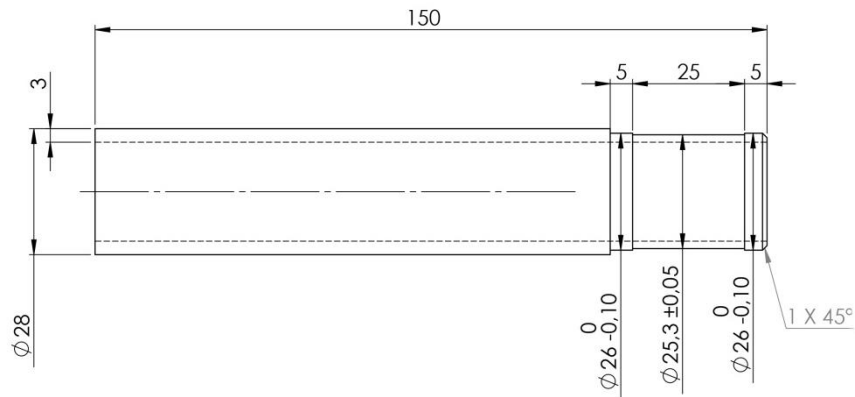


Figura 85. Plano del inserto

En la imagen anterior se muestra el plano de estos insertos, donde se realiza un rebaje que sirve como alojamiento para el adhesivo, y los extremos del diámetro del tubo sirven como topes para que la cola quede retenida. Las tolerancias son muy pequeñas para favorecer la retención del adhesivo.

Aunque las uniones del basculantes serán de aluminio 6082 T651, los insertos de este ensayo son de tubo de acero debido a la facilidad de soldadura que dicho material proporciona.



Figura 86. Inserto metálico mecanizado

Además, los tubos de FdeC que se utilizarán en el basculante tienen una disposición de las fibras del 75% a 0° y el 25% restante repartido a +-45°, y la disposición de las fibras utilizada en los tubos de este ensayo, son 50% a 0° y el otro 50% a 90°. El espesor del tubo en este ensayo es de 1mm., mientras que en el basculante es de 2mm. El diámetro exterior de los tubos es de 28mm. en ambos casos.

Para la fabricación de la probeta se usó tubo de acero y tubo de FdeC tal y como se ha comentado en párrafo anterior. Además de adhesivo estructural Adekit 140 de la marca

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Axson y dos perfiles en T de acero adaptado a las mordazas de la máquina para la realización del ensayo.

### Metodología

Una vez mecanizados los insertos, se le añade un tratamiento superficial llamado arenado, un chorreado abrasivo que inyecta arena mediante aire a presión en la superficie dedicada al adhesivo, para conseguir una superficie rugosa uniforme más adherente. Paralelamente al tubo de FdeC se realizan dos orificios contrapuestos de 4mm. de diámetro, por los cuales se introducirá el adhesivo, y se lija su interior.

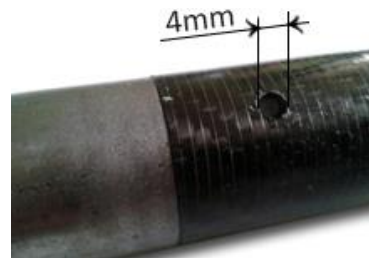


Figura 87. Detalle del orificio del inserto

Posteriormente se aplica una fina capa de adhesivo fluido al casquillo para introducirlo dentro del tubo de FdeC.

Por uno de los orificios de la FdeC se inyecta a presión el Adekit 140, dejando que cubra el total del otro orificio para asegurar que recubre todo el alojamiento.

En la siguiente imagen puede observarse su metodología, siendo la zona roja el tubo de FdeC y la zona gris el inserto metálico.

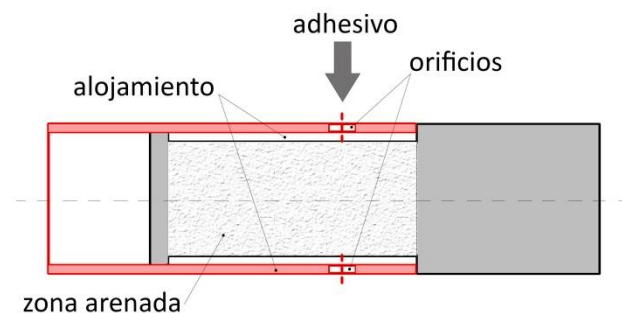


Figura 88. Esquema del método

Seguidamente se cura durante 48h a presión y temperatura ambiente, obteniendo el siguiente resultado.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 89. Probetas de inserto metálico

Por último se sueldan los perfiles en T por cada extremo, para la sujeción con la máquina de ensayo, y analizando así, como afecta el incremento de calor debido a la soldadura en el adhesivo.

Se realizaron dos probetas:

- Probeta A: se sueldan los perfiles en T refrigerando los extremos de la tubo mediante un trozo de tela mojada
- Probeta B: se aporta un extra de calor mediante un soplete para que la diferencia de calor sea más extrema

En el laboratorio del Departamento de Resistencia de Materiales de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial y Aeronáutica de Terrassa (ETSEIAT), se realizó el ensayo a tracción con la máquina especializada para tal finalidad.



Figura 90. Probeta en la máquina de ensayo a tracción

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató



Figura 91. Detalle de las mordazas

La máquina del ensayo puede configurarse fijando el desplazamiento o fijando la fuerza a aplicar. En este caso se fijan las dos probetas por el desplazamiento a 0.5mm/min hasta su rotura por uno de los extremos.

### Conclusiones

Se obtienen dos gráficas, una para la probeta A y otra para la probeta B tal y como se comenta anteriormente

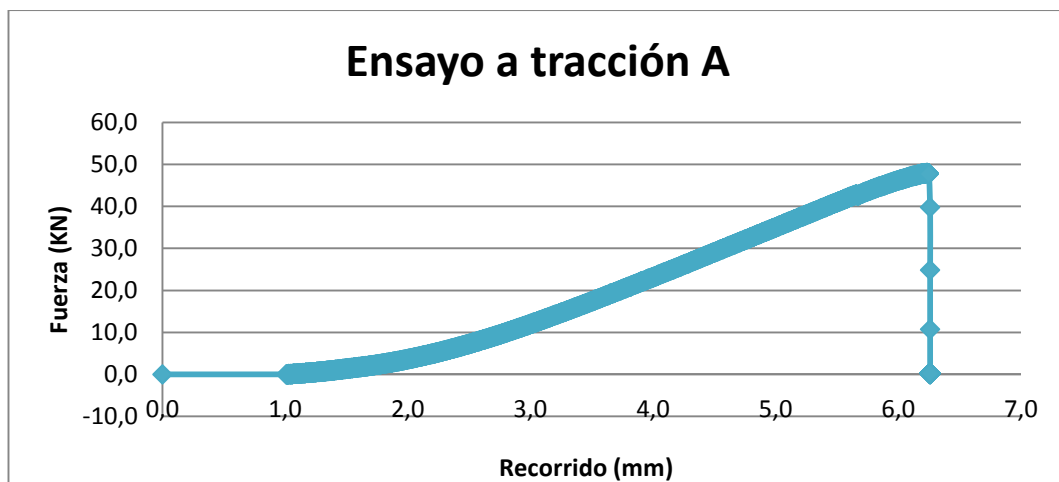


Figura 92. Grafica de los valores de la probeta A



Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

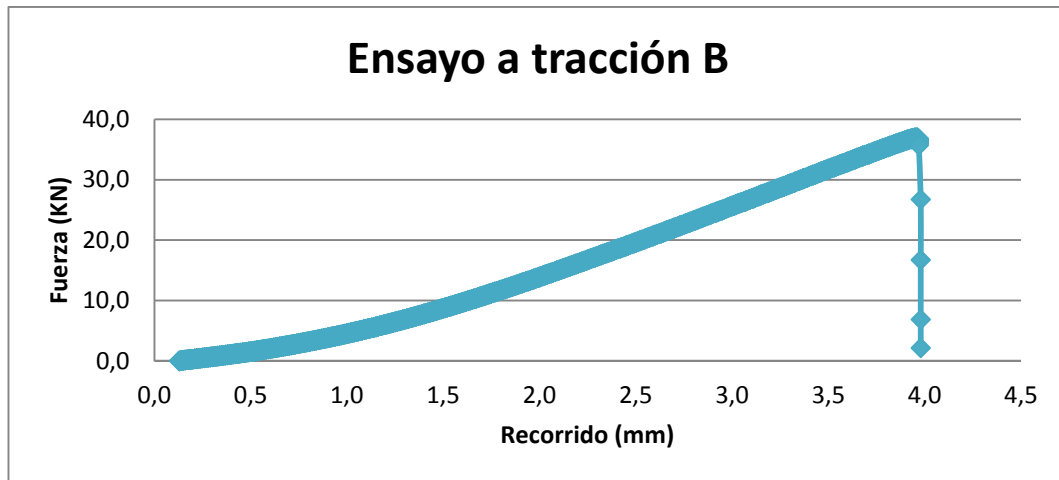


Figura 93. Gráfica de los valores de la probeta B

En la primera gráfica, correspondiente a la probeta A, se rompe por un extremo cuando se llega a los 47KN, en cambio, en la segunda gráfica, correspondiente a la probeta B, se rompe a los 35KN, ambos valores muy superiores a cualquiera de las sollicitaciones a las que se tendrá que someter el basculante.



Figura 94. Secuencia de rotura

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 95. Detalle delaminación del inserto metálico y del tubo de FdeC

Las dos roturas se producen por delaminación de los tubos, no por el adhesivo. Debido a que el espesor de los tubos de FdeC del prototipo será mayor respecto este ensayo, y la configuración de las fibras será más resistente que en este ensayo, se puede asegurar que las uniones serán más fuertes.

La afectación del aporte de temperatura es indiferente puesto que el prototipo no se verá afectado por más de 35KN.

## 10.2 Uniones mediante laminado

Debido al gran número de tubos que se unen en ciertas zonas del bastidor, las uniones mediante inserto de aluminio dificultan en exceso su fabricación. Aunque el basculante no tenga un número excesivo de tubos para unir, se emplea esta misma metodología para las uniones que no requieren soldadura debido a que este tipo de unión presenta varias ventajas:

- Al utilizarse el mismo material se presentan comportamientos parecidos sin necesidad de añadir peso extra.
- Presenta un mejor aspecto estético.
- No necesita maquinaria para mecanizar ni soldar, disminuyendo el número de pasos en su fabricación.
- Permite corregir pequeñas desviaciones durante la fabricación, se aceptan tolerancias mayores y reduce su precio.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Se aprovecha este ensayo para analizar una de las zonas más críticas del chasis, la unión entre el bastidor con la pipa de dirección.

Este tipo de unión consiste en laminar encima de los tubos a unir teniendo en cuenta la dirección de los esfuerzos poniendo de forma estratégica la fibra.

### Ensayo a rotura

El objetivo principal de este ensayo es observar el modo y tiempo de fabricación de las probetas y el comportamiento de las uniones con respecto a los tubos estándares.

Para la realización de este ensayo se utilizan tubos de FdeC de 28 mm de diámetro y 1mm de espesor con las fibra situadas a 0-90º a partes iguales, adhesivo Axson Adekit 135, microesferas de vidrio, pilplay, adhesivo en láminas y retales de fibra de carbono con las fibras a  $\pm 45^\circ$  y a 0º, sangrador y tela porosa.

### Metodología

Para este ensayo en concreto, se mecaniza un tubo de aluminio de 150mm de longitud, 70mm de diámetro exterior y 2mm de espesor para simular la pipa de dirección. De la misma manera que en los insertos metálicos, la superficie de la pipa se arena para conseguir una superficie porosa. Seguidamente se limpia con acetona para eliminar la suciedad. Después se cubre el cilindro con una lámina de adhesivo, dos capas de fibra de carbono a  $\pm 45^\circ$  y una capa de pil play. Esta última es una tela que permite el drenaje de la resina y deja un acabado poroso que mejora la superficie para tratar con adhesivos.

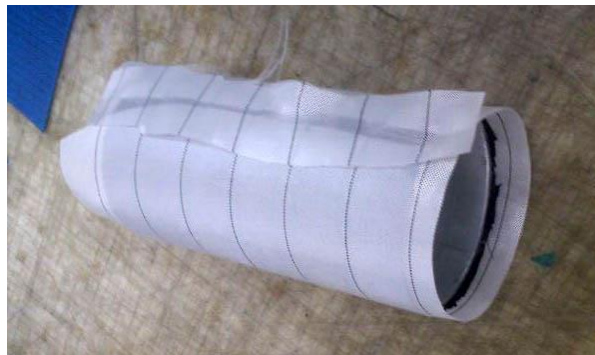


Figura 96. Aspecto de la pipa antes del proceso de vaciado

La pieza se somete al vacío para eliminar el aire de la fibra de carbono, recubriendo toda la pieza con una manta que se pone entre la fibra y la tela de sangrado para que esta última no se agujeree, y se coloca en la bolsa de vacío donde se incorpora una toma para conectar la bomba de vacío. Se deja curar en el horno a 100ºC durante 24h.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Finalizado el proceso de curado, se quita la capa de pil play y se obtiene una capa porosa preparada para la unión de los tubos de FdeC mediante laminado.

El proceso acabado de explicar no se contempla en el proceso de fabricado del basculante, ya que como se comenta anteriormente, para realizar este ensayo se utiliza la unión entre el bastidor y la pipa.

A partir de este momento, todos los pasos a seguir para realizar este tipo de unión, serán empleadas para el proceso de fabricación del basculante.

Se cortan los tubos de FdeC a la sección necesaria. Para ello, se imprime a escala 1:1 el desarrollo de cada tubo, se cortan las siluetas y se rodean en las tubos que se requieren, con un rotulador se traza la silueta del desarrollo en las tubos, y finalmente con una dremel se corta por el trazado lo más exacto posible, posteriormente se lija la superficie del corte y se encola para fijar su posición definitiva.

Idealmente el desarrollo de los tubos debería cortarse mediante laser, pero la unión mediante laminado permite que dicho desarrollo tenga tolerancias aceptables, evitando un incremento de coste en el corte por láser.



Figura 97. Desarrollo y fijación de los tubos

Con el adhesivo Adekit 135 y el polvo de microesferas de vidrio se realiza una masilla que recubre la unión entre los tubos mediante un radio para homogeneizar la superficie, en este caso, la unión se realiza entre la pipa con las tubos del bastidor. La masilla ofrece un poco de flexibilidad a las uniones, que se deja endurecer durante unas horas. Posteriormente se lija para minimizar la zona hasta conseguir el radio deseado.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 98. Unión entre tubos mediante la masilla (izquierda) y masilla endurecida (derecha)

A partir de este punto, la superficie de las uniones y los tubos están preparados para empezar el proceso de laminado. Se aplican 7 capas de FdeC pre-peg de 200g. y 0.2mm de espesor, distribuidas de la siguiente manera: 4 capas a  $\pm 45^\circ$  intercalando entre ellas 3 capas de fibra unidireccional en la dirección de los esfuerzos. Para finalizar el lamiado, se recubren algunas zonas con tiras de Fdec unidireccionales para reforzar-las.



Figura 99. 1ra capa de FdeC encima de la unión enmasillada

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 100. Laminado finalizado con las tiras de refuerzo

Se prepara el sistema de vacío de la misma manera que se ha explicado al principio de la metodología, y se cura a 100°C durante 24h.



Figura 101. Sistema de vacío

Se desestima el uso del autoclave ya que la diferencia aportada en la resistencia del conjunto es insignificante, y puede conllevar dificultades por la presión en las tubos de FdeC y de temperatura debido a la diferencia en la dilatación de la fibra y el aluminio.

De la misma manera que el ensayo en el otro tipo de unión, se utiliza la misma máquina del mismo departamento de la escuela.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Se realizan dos ensayos en la misma pieza:

- Ensayo A: se coloca en posición vertical el cilindro de aluminio sujeto con dos placas de acero. Se aplica una carga con un avance continuo de 0.5mm/minuto para valorar el comportamiento de la unión cuando la fuerza es paralela a la pipa de dirección.

Este ensayo no afecta a ninguna de las tubos del basculante debido a que las uniones laminadas del basculante solo son entre tubos, no entre tubos y cilindro de aluminio.

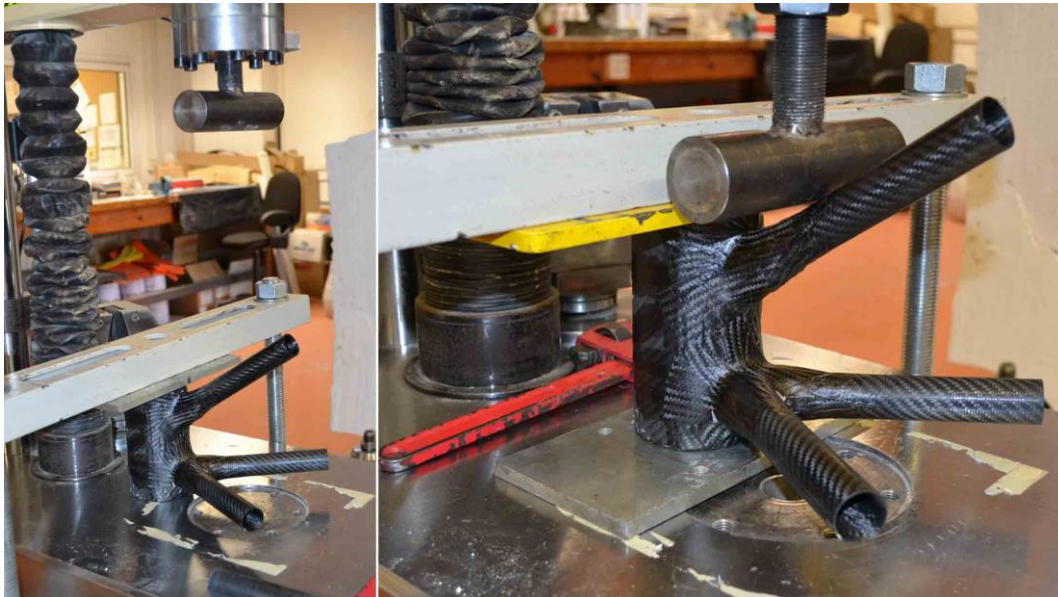


Figura 102. Maquina preparada para el ensayo

- Ensayo B: se apoya la sección cilíndrica del tubo de aluminio en una pieza de un diámetro similar, mientras que en los dos tubos de FdeC unidas entre ellas, se coloca una pinza hecha a medida que rodea los tubos y es la encargada de aplicar la fuerza.



Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

En este ensayo se analiza el comportamiento de la unión de dos tubos o más tubos en un mismo punto, y valorar el comportamiento de la unión cuando la carga es perpendicular a la pipa de la dirección.

Este ensayo afecta al basculante debido a que tienen la misma tipología.



Figura 103. Detalle de la pinza que rodea los tubos

### Conclusiones

Se obtienen dos gráficas, una para cada ensayo, A y B.

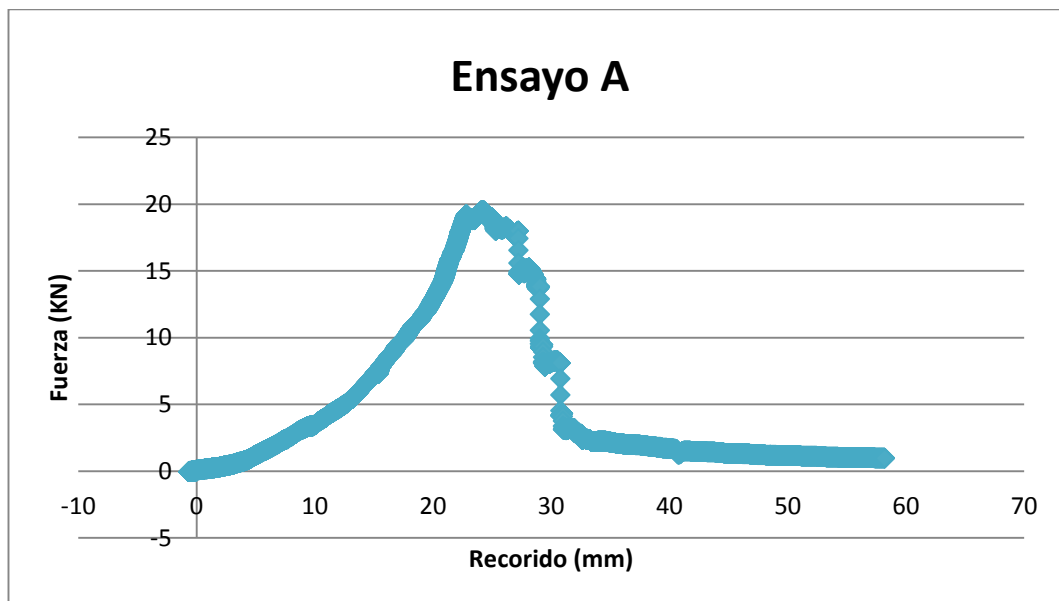


Figura 104. Grafica de los valores en el ensayo A



Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

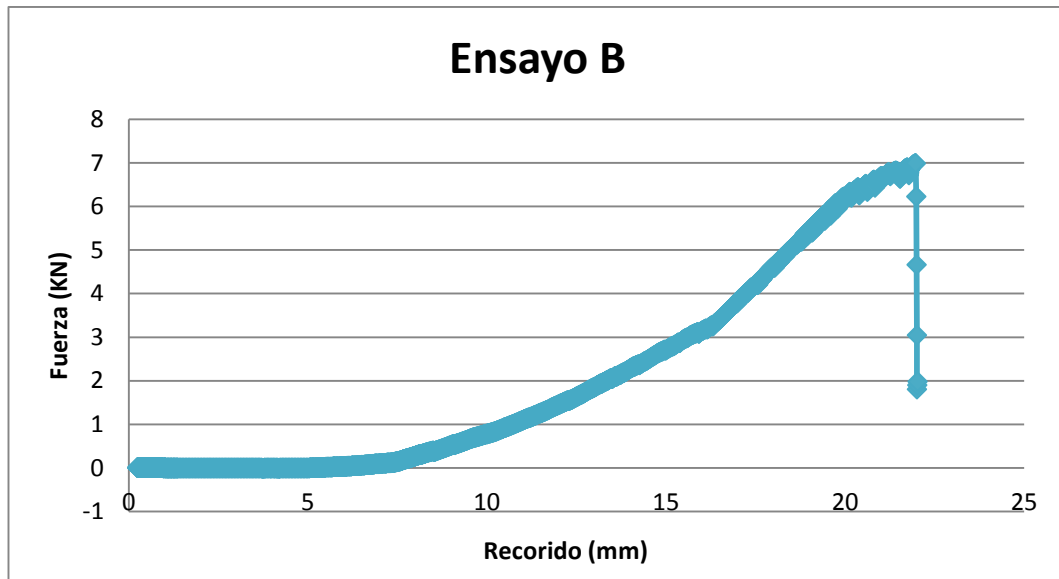


Figura 105. Gráfica de los valores en el ensayo B

La unión del primer ensayo aguanta 20KN. Tras la carga aplicada, rompe la unión con la pipa y no el laminado.

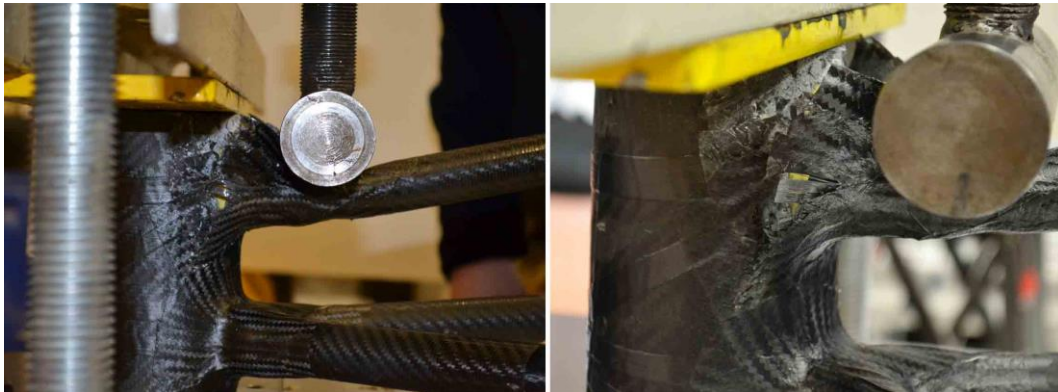


Figura 106. Detalle en el momento de la rotura

En la siguiente imagen se muestran con detalle, las roturas de las fibras.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 107. Detalle de la rotura en la unión

En el segundo ensayo, la unión se mantuvo intacta puesto que antes se rompieron los tubos. Aun no pudiéndose cita un valor de carga máxima que soportara la unión, los tubos se rompieron a los 7KN, dejando la unión en perfecto estado. Esto significa que la unión es capaz de soportar cargas mayores. Cabe destacar que la rotura fue lentamente, es un aspecto positivo a tener en cuenta.

## 11 Fabricación

### 11.1 Basculante

El basculante consta de dos partes, que al ser de distinto material, el proceso de fabricación varía. Se diferencian en:

- Refuerzo de aluminio (rojo)
- Estructura tubular de FdC (verde)



Figura 108. Tipo de zona para cada proceso

#### 11.1.1 Material

##### Aluminio

Para los casquillos y la estructura reforzada (la zona verde de la imagen anterior), se decide por el aluminio ya que el acero aporta un extra de peso que opone al poco peso de la fibra. Para conseguir un peso reducido del conjunto, se decide por el aluminio.

Hay piezas que deben de soldarse y otras no, así que por facilidad se decide emplear el mismo tipo de aluminio para todas las piezas.

En el anexo IV se muestran las propiedades mecánicas de varios tipos de aluminio que expertos del sector han aconsejado para el prototipo.

Tabla 3. Tabla comparativa de diferentes aluminios

TIPO	Límite elástico (MPa)	Límite de rotura (MPa)	Deformación (%)	Mecanizado	Soldadura
AL 2011 T6	230	310	8	Excelente	Media
AL 6061 T6	240	260	8	Bueno	Buena
AL 6063 T5	175	215	14	Regular	Excelente
AL 6082 T651	240	295	10	Bueno	Excelente
AL 7022 T651	495	550	8	Excelente	Posible
AL 7075 T6	480	540	11	Bien	-

El aluminio elegido debe poder mecanizarse manualmente, soldarse y que presente unas características mecánicas cuanto más buenas mejor.

Si se mira el límite elástico, el límite de rotura y la deformación, los aluminios de la serie 70 tienen prestaciones muy buenas, pero la soldadura es un aspecto malo frente a aluminios de alta resistencia mecánica. Así que los tipos AL 7022 T651 y el AL 7075 T6 se descartan.

El tipo AL 2011 T6 no presenta una buena soldadura, y el AL 6063 T5 no proporciona un buen mecanizado, así que ambos se descartan.

De los dos tipos restantes, el AL 6061 T6 y el AL 6082 T651, tienen propiedades mecánicas muy parecidas, aunque el AL 6082 tiene el límite de rotura más alejado que el AL 6061, y la soldadura es excelente, así que se descarta el AL 6061 T6 y se escoge el AL 6082 T651.

### Fibra de carbono

Se denomina fibra de carbono a un material compuesto tipo polimérico. Está constituido por dos fases: una matriz de resina polimérica y fibras continuas de carbono reforzadas. La matriz proporciona protección contra la abrasión e impactos, soportados por las fibras gracias a la transmisión de esfuerzos de una fibra a otra; es lo que le da la forma a

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

la pieza. Las fibras forman la columna vertebral del material y determinan su dureza y resistencia en dirección de estas.

Inicialmente la fibra de carbono siempre fue una inquietud para el equipo, es uno de los objetivos marcados desde el principio. Se considera un material atractivo que la configuración de las fibras se personaliza en función de los esfuerzos que se quiera soportar. Además, trabajar con un material poco utilizado en las motocicletas de competición aporta un mayor interés en investigación y desarrollo.

En el apartado 7.1 se explica que el diseño del basculante es una estructura tubular de FdC a partir de tubos con la configuración de las fibras a medida.

Para llevar a cabo el montaje del basculante, el equipo se puso en contacto con Nexus projectes, una empresa de Martorell especializada en fibra. Inicialmente se compraron 3m. de tubos de diámetro 28mm. y 1mm. de espesor, con el 50% de las fibras a 0º y el 50% restante a 90º. Después de estudiar los esfuerzos que debería de soportar el prototipo conjuntamente con el gerente de Nexus, se decidió cambiar el espesor a 2mm. y la configuración de las fibras al 75% a 0º y el 25% restante a  $\pm 45^\circ$ .

#### 11.1.2 Proceso de fabricación

Para realizar la fabricación se distinguen las dos partes diferenciadoras del basculante:

##### Refuerzo de aluminio

Para la realización del refuerzo de aluminio se necesitan mecanizar las barras y los tubos para su posterior soldadura.

Debido a que las piezas son sencillas, se mecanizan de manera manual en un torno y una fresa. El mecanizado se realiza en el Instituto de investigación Tèxtil y Cooperación Industrial de Terrassa (Intexter).

Para la soldadura de las piezas, se realiza una búsqueda exhaustiva de soldadores de aluminio por la zona del Vallés que estén dispuestos a colaborar con equipo. Finalmente se realiza en Motodespiece, un desguace de Martorelles que además de tener un desguace, disponen de un taller con mucha maquinaria y equipos de soldadura.

Para la soldadura del conjunto se requiere un utillaje, como se observa en las siguientes imágenes:

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición*  
Gemma Solé Vilató

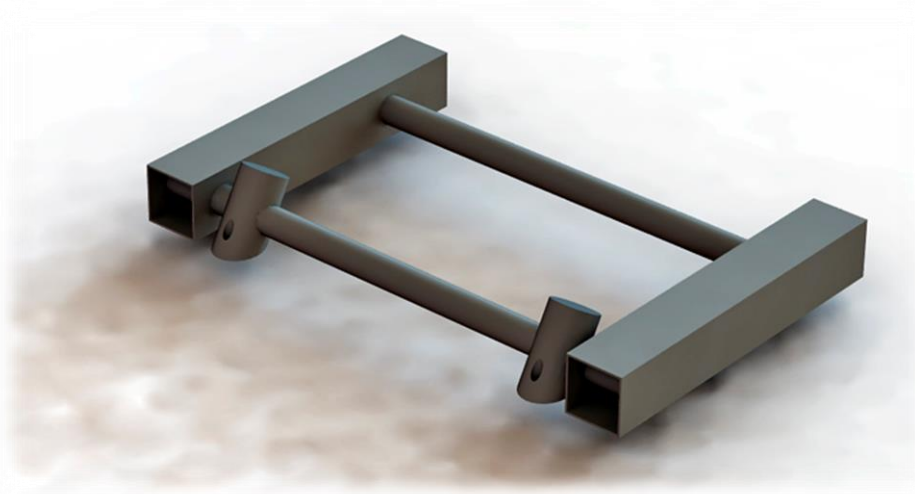


Figura 109. Utillaje del refuerzo de aluminio

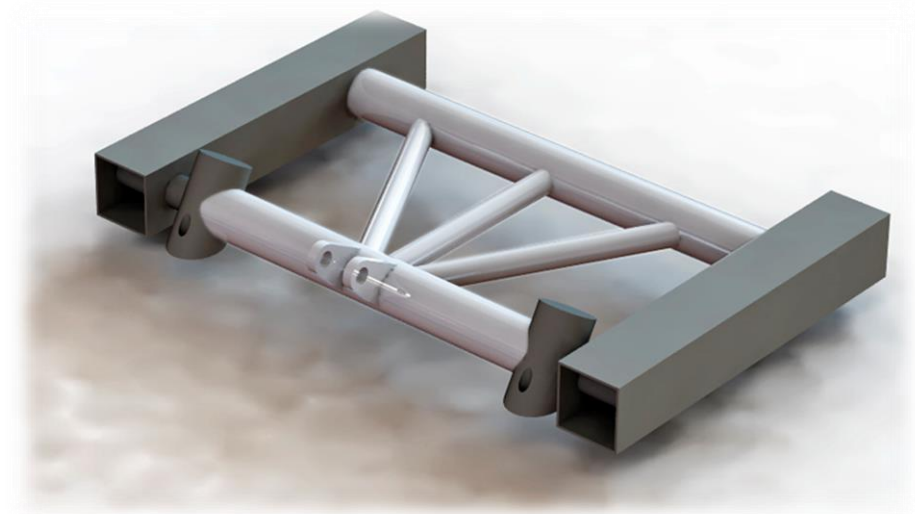


Figura 110. Utillaje con el refuerzo

Consta de unas barras (2) que se introducen entre los ejes que soportan la bieleta y el muelle. Estas barras se sueldan con un perfil cuadrado (1), mientras que el otro perfil cuadrado no se suelda, este es el encargado de posicionar el eje del muelle, que es el tubo más largo de la estructura reforzada. Mediante los casquillos (3), se posiciona el eje de la bieleta, estos casquillos se posicionan mediante tornillería. Finalmente se sueldan las tres barras transversales.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

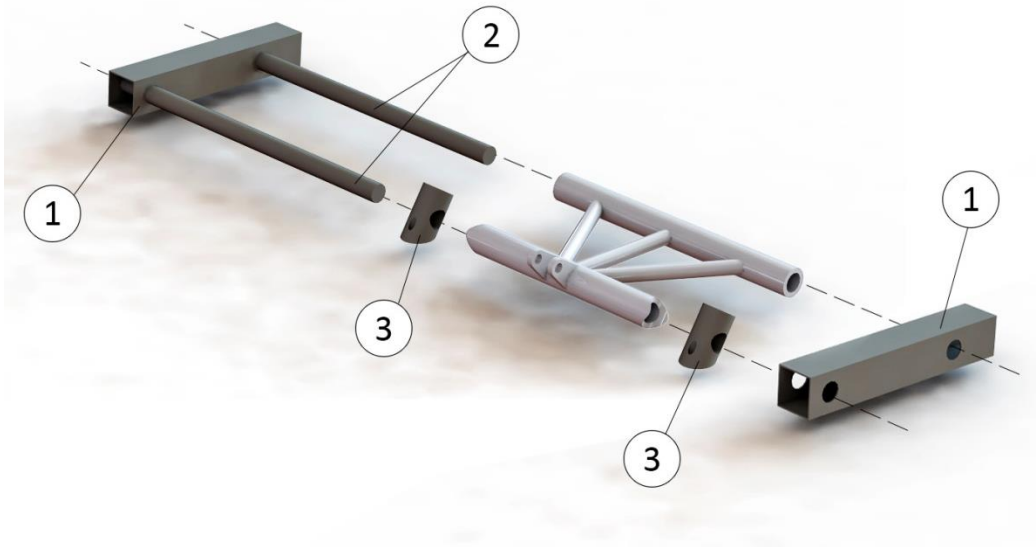


Figura 111. Secuencia de montaje del refuerzo de aluminio

### Estructura tubular de FdeC

Para la demanda de la materia prima, el equipo se pone en contacto con Clip Carbono, una empresa Gallega encargada de fabricar y distribuir tubos de fibra unidireccional y bidireccional para multitud de aplicaciones. En su departamento de I+D existe la posibilidad de fabricar y desarrollar tubos “a medida” con disposiciones concretar para satisfacer las necesidades del cliente, sin ser producto estándar, y sin un elevado coste de fabricación. De este modo, el equipo asume el coste de la materia prima.

Una vez decidido la configuración de las fibras y cerrado el diseño, se procede a la compra del material.



Figura 112. Tubos de FdC

Para llevar a cabo la estructura se mecanizan unos casquillos (verde) y se realiza un utillaje para ensamblar los tubos (azul).

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición*  
Gemma Solé Vilató

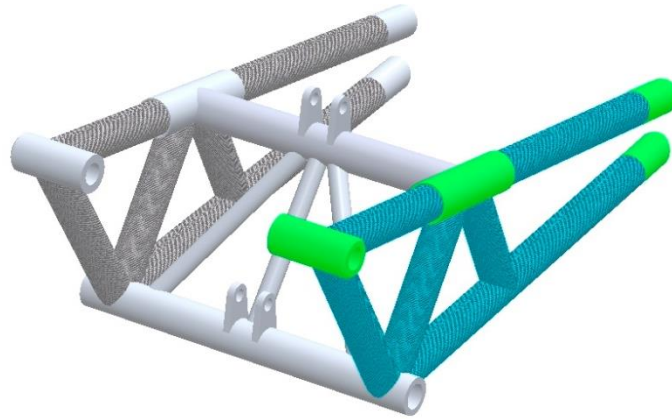


Figura 113. Zonas del ensamblaje

Los casquillos de aluminio se mecanizan manualmente en Intexter, de la misma manera que la zona reforzada. Paralelamente se realiza el desarrollo de los tubos de fibra de la misma manera que se explica en el apartado 10.2.

Una vez obtenidas todas las piezas cortadas a medida y el refuerzo finalizado, se procede al ensamblaje del conjunto mediante uniones con inserto y uniones laminadas.

Se realizan dos utillajes simétricos, uno para la banda izquierda y otro para la banda derecha. En las siguientes imágenes se distingue una banda, aunque hay que tener en cuenta de que hay dos que se ensamblan de la misma manera.

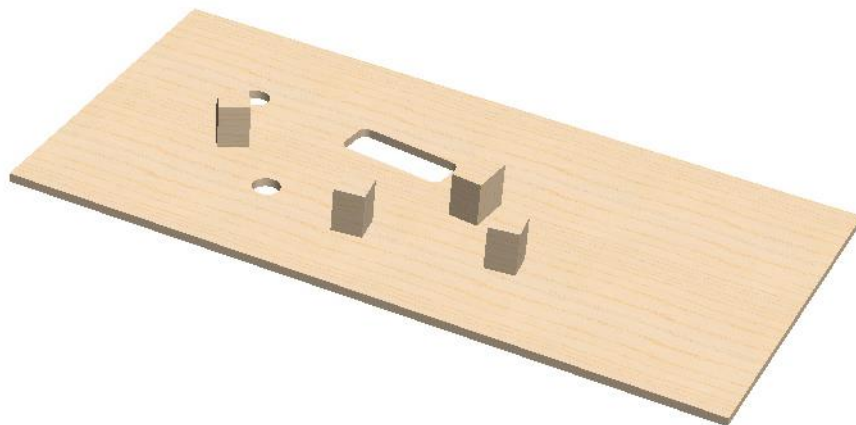


Figura 114. Utillaje de madera

Por los dos orificios se posiciona la parte reforzada, realizada anteriormente, y un casquillo, mientras que en la ventana rectangular se posiciona la abrazadera.



*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Seguidamente se colocan los cinco tubos de FdeC y se laminan. Por último, se colocan los insertos de aluminio que están al final de la estructura, y que previamente han sido soldados con el tensor de la cadena.

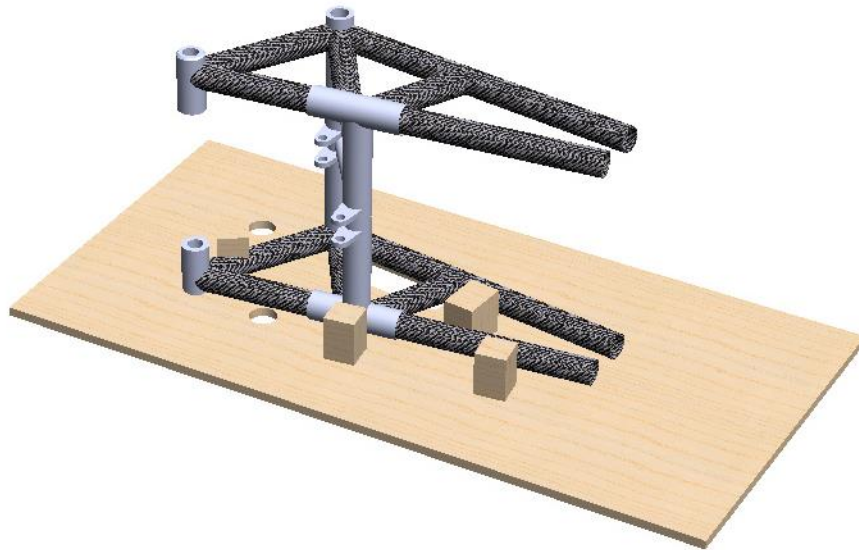


Figura 115. Conjunto utillaje y basculante vista delantera

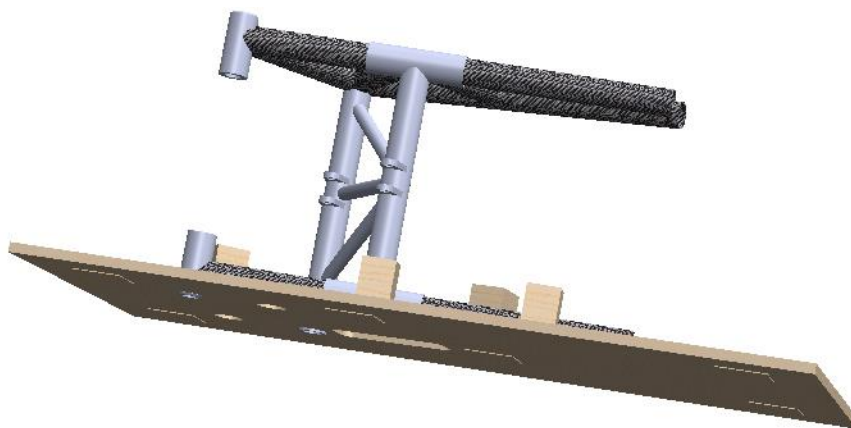


Figura 116. Conjunto utillaje y basculante vista trasera

Se observa que en la parte trasera hay unos tacos de madera del espesor suficiente para que las piezas metálicas del basculante descanses en la base de madera sin apoyarse en el suelo.

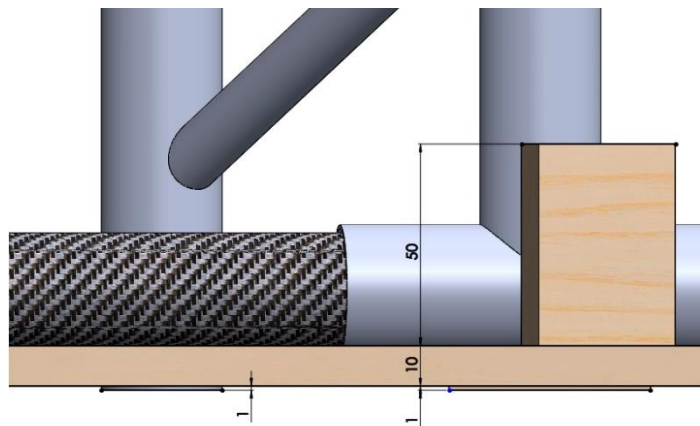


Figura 117. Detalle de las diferentes alturas del utilaje

## 11.2 Carenado

La idea inicial del equipo es la realización de un modelo a escala real del prototipo, para utilizarlo como máster para realizar los moldes y obtener así, el carenado. Esto permite realizar un carenado ergonómico y ajustado a las medidas del piloto, además de un diseño propio y estudiado.

El diseño del carenado es de otro miembro del equipo, David Jiménez, por este motivo no se considera su diseño en este proyecto.

Para satisfacer la falta de experiencia en este aspecto, el equipo se puso en contacto con la empresa Fuhtah, empresa especializada en la realización de maquetas y prototipos mediante infinidad de materiales (madera, hierro, fibra de vidrio,...). La presentación fue muy favorable y la empresa facilitó una serie de cosas básicas y esenciales, que se comentan en el apartado 11.2.2 para llevar a cabo el carenado.

### 11.2.1 Material

La mayoría de carenados se fabrican en ABS, en fibra de vidrio y una minoría en fibra de carbono.

Debido al alto conocimiento que Fuhtah tiene en la realización de moldes en fibra de vidrio, se decide realizar el carenado en este material.

La fibra de vidrio que se comercializa se distingue en distintos formatos, los más comunes son el tipo Mat de vidrio, que es muy parecido a un tejido; y el tejido de fibra.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 118. Tipos de fibra: Mat de vidrio (izquierda) y tejido de fibra (derecha)

### 11.2.2 Proceso de fabricación

Para el desarrollo del carenado se optó por desarrollar un modelo en arcilla a escala real del prototipo, con la finalidad de utilizarlo como máster para construir los moldes en fibra de vidrio y su posterior carenado en el mismo material.

#### Modelo a escala real

Para desarrollar el modelo a escala real del prototipo de la motocicleta, se citan una lista de materiales y necesidades que hay que conseguir para llevarlo a cabo:

- Chasis
- Tabla de madera de 1500x900mm
- Espuma de poliuretano, foam
- Espuma de poliuretano expandida
- Malla metálica
- Clay, arcilla industrial especial para crear y modelar prototipos a escala real.
- Herramientas para modelar el clay
- Un espacio-taller para trabajar
- Un horno cerca para poder calentar el clay
- Equipo de soldadura

Para el chasis se compra una moto de segunda mano por 90€, con el objetivo de desmontarla y adaptar su chasis a lo que sería el modelo a escala real.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 119. Desmontaje de la moto

Para satisfacer las necesidades de foam, se recibió la colaboración de la empresa Poliuretanos, que nos dio 20m<sup>2</sup> de espuma de poliuretano por 50€, dicha empresa se ubica en Girona, para el desplazamiento y recepción del material, la empresa Primoti, con una amplia flota de vehículos industriales, nos proporcionó una camioneta para tal finalidad.



Figura 120. Recepción y carga de foam

La obtención de Clay fue proporcionada por la empresa Uneco, que además de colaborar con nosotros mediante arcilla, también colaboro con todos los materiales necesarios para la realización del molde en fibra de vidrio, que se comenta más adelante. Uneco nos proporcionó 5 cajas de Super Clay 1705 (equivalente Chavant J-525), aproximadamente 110Kg.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 121. Recepción de la arcilla industrial, clay

Para satisfacer las necesidades de espaciado y herramientas propias, tal y como se ha comentado antes, el equipo se puso en contacto con la empresa Fuhtah, que facilitó al equipo un espacio en su taller, unas herramientas, un horno, un equipo de soldadura, malla metálica, y su conocimiento.

El primer paso para la realización del modelo es adquirir una tabla de madera, cortarla a una superficie adaptada a la motocicleta, en este caso, de 900x1500 mm, y trazar una cuadrícula cada 100mm en los ejes X e Y. El eje Y representa el lado longitudinal o más largo de la moto, mientras que el eje X representa el lado transversal o más corto de la moto, dejando el eje Z en la representación del espacio del prototipo mediante un mandril. Estas coordenadas servirán para posicionar el modelo y pasar del 3d en CAD a la realidad. La tabla de madera descansa en una especie de repisa para facilitar el trabajo del modelo a escala real. Para la repisa se utilizaron unas estructuras de sillas que no tenían utilidad.



Figura 122. Cuadrícula en los ejes X, Y

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Seguidamente se hacen unos caballetes donde apoyar los ejes de la rueda delantera y trasera del chasis, teniendo en cuenta la distancia entre ejes del prototipo. Estos se juntan mediante tornillería en la tabla de madera.

Una vez constituido el espacio de trabajo, el siguiente paso es imprimir secciones del modelo en 3d, engancharla en cartones e ir cortando foam con una forma aproximada a dichas secciones.



*Figura 123. Corte y modelado de foam*

Las empresas que se dedican a prototipos de modelos cortan las secciones en maderas, ya que permite mayor rigidez y mayor precisión en las medidas. En el caso de MotoSpirit, existen unas tolerancias ya que el modelo se adaptará a las medidas del piloto, por eso, es innecesario utilizar madera para las secciones.

Con unas rasquetas se modela el foam para aproximarse a las formas de las secciones. Seguidamente se posicionan las piezas de espuma de poliuretano en el chasis mediante los ejes de coordenadas de la tabla de madera. Las piezas se enganchan en la estructura mediante la espuma de poliuretano expandida hasta obtener un primer volumen del prototipo.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 124. Enganche y posicionamiento de foam



Figura 125. Volumen del prototipo en espuma de poliuretano

La superficie de foam puede ser perforada con un lápiz para facilitar la posterior aplicación de clay. En este caso se perforan las zonas más complicadas de aplicar la arcilla, que es la tija.

Para finalizar la forma del carenado lateral, se emplea una malla metálica entramada de poco espesor para que sea de fácil moldeo. Esta se corta con una radial a una superficie aproximada de la deseada, se fija en el chasis mediante puntos de soldadura y posteriormente mediante espuma de poliuretano expandida. Una vez seca la espuma, se obtiene una superficie preparada para adherir la arcilla.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató



Figura 126. Posicionamiento de la malla en el chasis



Figura 127. Resultado final

Se limpiar de polvo y restos de foam la superficie mediante un compresor y seguidamente se calienta con un heater de manera uniforme para adherir seguidamente la arcilla.



*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Paralelamente se calienta el horno a la temperatura y el tiempo recomendables por el fabricante de clay. En este caso se debe calentar a 56°C durante 4h para que llegue a la temperatura óptima de trabajo. Mientras se trabaja en arcilla se mantiene el horno a dicha temperatura.

Se aplica clay recubriendo toda la superficie de foam mediante las manos siguiendo unas técnicas especiales.



Figura 128. Modelado en clay del prototipo



Figura 129. Horno y detalle del clay

Después de la primera capa de clay, se procede a modelar la arcilla mediante unas herramientas concretas para dicha finalidad. Para alisar la superficie se utilizan slicks (1), un tipo de chapa metálica maleable; para desbastar el clay se utilizan las rasquetas o

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

espátulas (2); y para definir las líneas con configuración la forma se utiliza el tape (3), un tipo de cinta adhesiva especial para arcilla.

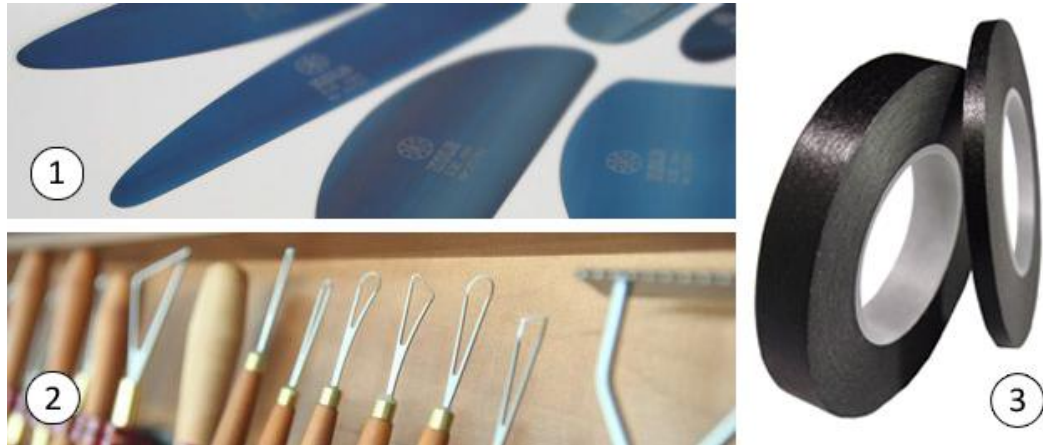


Figura 130. Herramientas para clay

Una vez definidas las formas mediante el tipe y moldeada y alisada toda la superficie mediante las herramientas, se obtiene el siguiente resultado final,

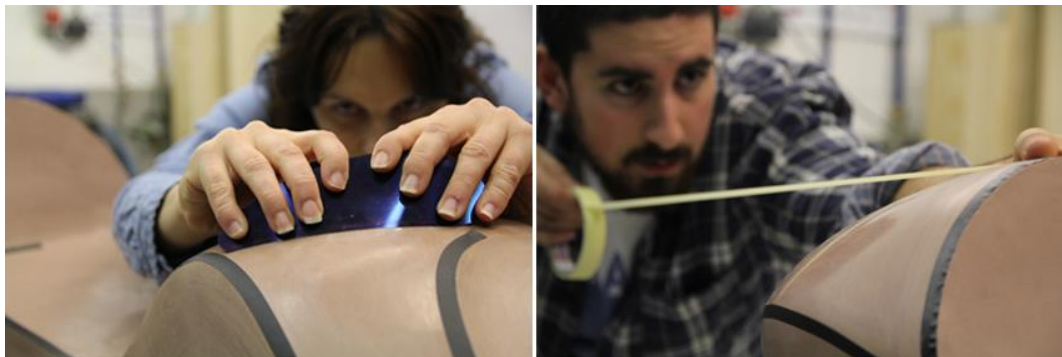


Figura 131. Moldeo y alisado de clay

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*



Figura 132. Modelo a escala real en clay finalizada

Posteriormente el modelo en clay se somete a varios cambios para adaptarse a las medidas del piloto.

### Carenado

El siguiente paso después de la realización del modelo en clay, es realizar los moldes para la fabricación del carenado. En este caso, el modelo en clay se utiliza como máster para construir y obtener dichos moldes.

Para la entrega de este proyecto aún no se habrá realizado el siguiente procedimiento, pero si se han estudiado los pasos a seguir.

Los materiales que se necesitan y que son proporcionados por Uneco, son los siguientes:

- Gel coat: es un gel especial para recubrimientos y acabados, existen en colores base blanco, negro o transparente, a este último se pueden agregar pigmentos para dar un acabado concreto. En este caso se dispone de gel coat base blanca. Se obtienen 2Kg.
- Resina de poliéster: es un polímero encargado de proporcionar resistencia. Se obtienen 15Kg. Hay dos tipos de resina, de poliéster y epoxi. La primera tarda

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

2 horas en endurecer y la segunda 24 horas, mientras que ambas presentan propiedades mecánicas similares.

- Vaselina: cera desmoldante encargada de separar las partes del molde y ayuda a crear una barrera para que no se peguen los moldes.
- Fibra de vidrio: es el tejido con el que se harán los moldes y el carenado final. En este caso se usa una fibra Mat. Se obtienen 12m<sup>2</sup> con un grosor de 200g.
- Masilla de poliéster: masilla encargada de corregir las irregularidades que puedan surgir en la superficie.

Se divide el carenado en 3 moldes, uno para el colín, asiento y depósito (azul); otro para el frontal y los laterales (verde), y otro para la quilla (magenta).

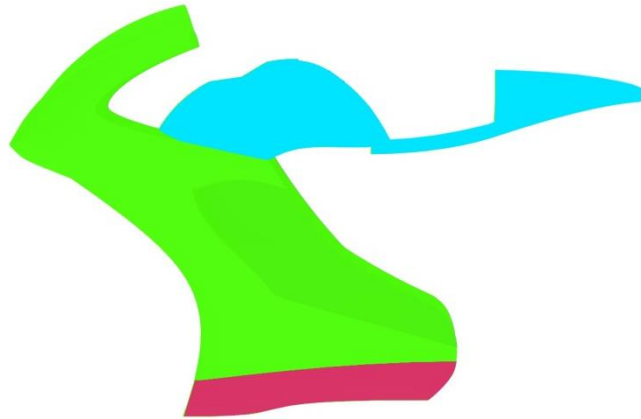


Figura 133. Diferentes moldes del carenado del prototipo

Los pasos a seguir para la realización de los tres moldes es el mismo. La composición de los tres moldes es como un rompecabezas, hay que tener en cuenta las diferentes zonas que pertenezcan a cada uno de los moldes para realizar su ensamblaje mediante tornillería de las diferentes partes y obtener así, el conjunto del carenado del prototipo.

Inicialmente se limpia y se seca la superficie de clay de polvo y otras impurezas. Seguidamente se aplica la vaselina mediante un trapo limpio por toda la superficie exterior. Pasados 5 min. aproximadamente la vaselina está seca y lista y para pasar un trapo con fuerza para pulir toda la superficie y que esta quede brillante. Este proceso se realiza un total de tres veces para facilitar el desmoldeo posterior.

Después se aplica el Gel coat, vaciado previamente en un recipiente de plástico, se aplica en la superficie de vaselina mediante una brocha y se deja secar durante 2 horas.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Una vez seco el Gel coat, se cubre toda la superficie con recortes de fibra de vidrio, recortados previamente con tijeras, y adheridos a la superficie mediante la resina de poliéster. La resina de poliéster se prepara en un recipiente aparte y se aplica mediante una brocha en pequeñas áreas que serán cubiertas por los retales del Mat, y así sucesivamente hasta recubrir en su totalidad la superficie del molde. Se repite esta operación 3 veces. Una vez seca la resina junto al tejido de fibra es momento de separar las superficies, para ello se aprietan los extremos del molde hasta escuchar un ruido parecido a un rugido, entonces se separan, se puede aplicar agua en las partes separadas para ayudar con el desmoldeo. Finalmente se obtiene el molde, el cual se lija para eliminar rebabas y restos de material fuera de la superficie del molde.

El mismo procedimiento hay que hacer para realizar los otros dos moldes y para fabricar el carenado, este último se parte de la superficie del molde, y también se aplican tres capas de fibra de vidrio para adquirir un grosor de 1,5 a 2mm.

Una vez realizados los tres moldes que se han citado anteriormente con sus respectivas piezas, se procede al pintado del carenado.

Hasta la fecha no se ha definido el aspecto gráfico que tendrá el carenado, pero la siguiente imagen muestra una aproximación de su aspecto.



Figura 134. Render aproximado del carenado

## 12 Impacto medioambiental

### 12.1 Fase de diseño

Durante la fase de diseño del bastidor para el prototipo de motocicleta no se ha tenido en cuenta la sostenibilidad del proyecto de la motocicleta por los siguientes motivos:

- El prototipo participa en una competición universitaria en la que tiene que disputar una carrera y debe pasar una serie de pruebas, en las que se ponen a prueba las prestaciones de la moto. En ningún caso se evalúan consumo, emisiones, ni la huella ecológica producida desde el inicio del proyecto hasta su finalización.
- La organización de la competición no exige ni valora el estudio del impacto ambiental.
- El diseño es para un prototipo, es decir que únicamente se fabrica una unidad del mismo. En el caso de una posible industrialización del producto, se deberían rediseñar las piezas que conforman el bastidor para priorizar procesos con un consumo más eficiente de materia prima y optimizar el diseño para que cuando la moto finaliza su vida útil sea lo más fácil posible su procesado, pensando en los procesos de reciclaje de cada una de las piezas que forman el bastidor.

### 12.2 Evaluación ambiental para piezas de fibra de carbono

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

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

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

### Clasificación composites

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

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

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

- Los materiales compuestos de matriz termoestable no pueden ser reprocesados mediante procesos de refundición.
- Los desechos suelen estar contaminados y a menudo contienen insertos metálicos o rigidizadores.
- El alto contenido y tipos de refuerzos, minerales inorgánicos como, por ejemplo, la fibra de vidrio, con propiedades muy distintas a la matriz, dificultan en gran manera los procesos de reciclado.

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

### Composites de carbono

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

- Fibras
- Tejidos
- Preimpregnados
- Laminados curados.

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

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

Como una clasificación inicial:

- Preimpregnado o prepreg en estado B perfectamente utilizable. Suelen ser restos de bobina.
- Prepreg en estado B pero fuera de fecha. También restos de bobina.
- Prepreg polimerizado, normalmente en forma de bobina.
- Composites de carbono en forma de piezas y moldes fuera de uso.
- Tejidos de carbono y bobinas de hilo sin mezclar con resina. Son restos de producción.
- Polvo de composite de carbono obtenido de recantados de piezas y cortes con herramientas.

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

### 12.3 Fase de construcción

#### 12.3.1 Minimizado de residuos

Durante la fabricación del basculante se han tomado las medidas básicas para minimizar los residuos producidos, aumentando todo lo posible el coeficiente de aprovechamiento de los materiales utilizados. Hay que tener en cuenta que en el proyecto del equipo MotoSpirit, los estudiantes tenemos que fabricar el prototipo de una moto de competición, asumiendo todas las partes que un proyecto de estas características conlleva. Uno de los principales problemas y principal limitación es la obtención de financiación, por lo que el aprovechamiento al máximo de los materiales está garantizado.

#### 12.3.2 Tratamiento de los residuos

Los residuos generados durante la construcción del basculante han sido tratados correctamente ya que tanto la elaboración de las piezas como el ensamblado se ha realizado en espacios habilitados para tal fin y especializados en la materia prima que se ha tratado.



*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

El basculante lo forman piezas de aluminio y fibra de carbono, además del acero utilizado para el utillaje.

### Metales

La fabricación de las piezas de aluminio y acero se ha realizado en el taller mecánico de INTEXTER, en las instalaciones de la ETSEIAT. Todas las piezas de aluminio y acero se han elaborado mecanizando manualmente, por lo que los desechos generados han sido mínimos. El desperdicio generado ha sido tratado con el resto de residuos diarios que genera el taller, los cuales son recogidos periódicamente por una empresa especializada en el reciclaje de residuos metálicos.

### Fibra de carbono

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

Los tubos de fibra de carbono forman la estructura principal del basculante. Se necesitan 2,5 metros (contando los desperdicios al cortar) de tubo de 28mm de diámetro exterior y 2 mm de pared. Este material es adquirido al proveedor Clipcarbono, especialista en la fabricación de perfiles de este material, por lo que no se tiene en cuenta el análisis ambiental para estas piezas.

La unión entre los tubos y con los casquillos metálicos se realiza, en la mayoría de uniones del basculante, laminando con láminas prepreg. Este proceso se lleva a cabo por los propios alumnos implicados. El equipo MotoSpirit tiene como colaborador a la empresa Nexus Projectes, la cual cede las instalaciones, el material necesario, su conocimiento y experiencia para realizar el proceso de laminado del basculante.

Antes de entrar de empezar la manipulación de la fibra de carbono, Nexus informa de las precauciones obligatorias que hay que tomar en cada puesto de trabajo y en cada zona del taller de producción. Estas normas vienen establecidas por la empresa que realiza la auditoría de riesgos laborales a Nexus Projectes.

Con los recortes de fibra prepreg desechados son separados según los diferentes tipos establecidos y depositados en los contenedores correspondientes que dispone la empresa, ya que ellos tienen externalizado el procesado de los residuos que generan.

## 12.4 Fase de explotación

Este proyecto no incluye la gestión de residuos que se producen durante el funcionamiento de prototipo debido a que el basculante no genera ningún tipo de

desecho. Esta fase deberá ser estudiada por el departamento de motor, para la correcta gestión ambiental de los contaminantes producidos por el motor de combustión del prototipo.

### 12.5 Fase de desmantelamiento

Una vez acabada la vida útil del basculante, se intentará separar el mayor número de piezas para su posterior tratado y reciclado. Es difícil poder reutilizar alguna de las piezas que forman el conjunto bastidor, debido a que las que forman la estructura principal están unidas mediante soldadura (metal con metal) y mediante laminado (fibra- metal o fibra-fibra).

## 13 Presupuesto

El presupuesto se divide en el presupuesto global del basculante y del carenado. Está estipulado como el precio real del material y de las horas de trabajo.

Dado que una de las tareas del equipo es conseguir financiación y colaboración para realizar el prototipo, el presupuesto que se detalla no es el presupuesto que ha gastado el equipo, sino el real si se hubiera tenido que pagar por todos los materiales y servicios.

### 13.1 Basculante

El presupuesto se divide en la compra de la materia prima y en las horas invertidas para la fabricación.

#### Materia prima

Debido a que los casquillos de aluminio tienen diferente diámetro y espesor, se decide comprar una barra maciza del mayor diámetro que se tenga y de esta manera mecanizar todas las piezas. Las orejas del conjunto se contabilizan dentro de la barra maciza. La longitud total de las piezas de aluminio es de 1,9m., pero debido a que hay que dejar una longitud entre cortes, se decide adquirir 3m de 35mm. de diámetro.

La longitud total de los tubos de fibra asciende a 2,5m., debido a que hay que dejar una longitud mínima entre cortes, se decide en comprar 4m. de longitud de tubo de 8mm. de diámetro con 2 mm. de pared.

Para la realización de los dos utillajes se tiene que comprar 490mm de longitud de perfil 40x40mm de acero; 752mm. de longitud de barra maciza de acero de 20mm. de diámetro; dos tableros de madera de 800x400x10mm; 6 tacos de madera de 80x80x80mm y 6 tacos de madera de 80x80x1mm.

Tabla 4. Tabla del presupuesto de la materia prima

Material	Precio/unidad (€/m)	Cantidad	Precio final (€)
Barra AL 6082 T651	16,58 €/m	3	49,74
Barra de FdeC	57,65 €/m	4	230,6
Perfil de acero	3,79 €/m	1	3,79

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

Barra de acero	8,10 €/m	1	8,10
Tabla de madera	19,25 €/u	2	38,50
Taco alto	1 €/u	6	6
Taco bajo	0,50 €/u	6	3
<b>Precio total del material</b>			<b>339,73</b>

### Procesado

Se divide el procesado de cada pieza de los siguientes conjuntos:

- Basculante
- Utillaje 1
- Utillaje 2

Se suponen unos costes de taller de 35€/h.

Tabla 5. Tabla del presupuesto del procesado del basculante

Denominación	Descripción	Horas	Precio/h	Cantidad	Precio final(€)
1-BC	Tubo 1	2	35	2	140
2-BC	Tubo 2	2	35	2	140
3-BC	Tubo 3	2	35	2	140
4-BC	Tubo 4	2	35	2	140
5-BC	Tubo 5	2	35	2	140
6-BC	Casquillo unión lateral	0,5	35	2	35
7-BC	Casquillo pivote	0,5	35	2	35

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

8-BC	Casquillo transversal 1	0,5	35	1	17,5
9-BC	Casquillo transversal 2	0,5	35	1	17,5
10-BC	Oreja	0,2	35	4	46,67
11-BC	Barra refuerzo lateral	0,5	35	2	35
12-BC	Barra refuerzo central	0,5	35	1	17,5
13-BC	Casquillo tensor cadena inferior	1	35	1	35
14-BC	Casquillo tensor cadena superior	1	35	1	35
<b>Precio total del procesado del basculante</b>					<b>974,17</b>

Tabla 6. Tabla del presupuesto del procesado del utillaje 1

Denominación	Descripción	Horas	Precio/h	Cantidad	Precio final(€)
1-U-BC	Perfil	0,5	35	2	35
2-U-BC	Eje	0,5	35	2	35
3-U-BC	Casquillo	1	35	2	70
<b>Precio total del procesado del utillaje 1</b>					<b>140</b>

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

Tabla 7. Tabla del presupuesto del procesado del utillaje 2

Denominación	Descripción	Horas	Precio/h	Cantidad	Precio final(€)
-	Tabla de madera	1	35	2	70
-	Taco alto	0,1	35	6	35
-	Taco bajo	0,1	35	6	35
<b>Precio total del procesado del utillaje 2</b>					<b>140</b>

El presupuesto global del basculante es el siguiente:

Tabla 8. Presupuesto global del basculante

Presupuesto conjunto	Precio
Material global	339,73
Basculante	974,17
Utillaje 1	140
Utillaje 2	140
<b>Presupuesto total</b>	<b>1593,9</b>

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

## 13.2 Carenado

El presupuesto se divide en la compra de la materia prima y en las horas invertidas para la fabricación.

### Materia prima

Tabla 9. Presupuesto global basculante

Material	Precio/unidad	Cantidad	Precio final (€)
Arcilla	12 €/Kg	64Kg	768
Espuma de poliuretano	300 €/m <sup>3</sup>	1m <sup>3</sup>	300
Espuma de poliuretano expandida	6,70 €/u	2	13,4
Chasis	90 €/u	1	90
Gel coat	3 €/Kg	2	6
Resina de poliéster	2,5 €/Kg	15	37,5
Vaselina	4,88 €/u	3	14,64
Masilla de poliéster	20 €/Kg	3	60
Fibra de vidrio	5 €/ m <sup>2</sup>	12	60
<b>Precio total del material</b>			<b>1.349,54</b>

### Procesado

Se divide el procesado de cada pieza de los siguientes conjuntos:

- Modelo en arcilla a escala real
- Carenado

Se suponen unos costes de taller de 35€/h.

Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató

Tabla 10. Presupuesto del modelo en arcilla

Descripción	Horas de taller	Precio/hora	Cantidad	Precio final(€)
Modelo en foam	68	35	1	2.380
Modelo en clay	542	35	1	18.970
<b>Precio total del modelo</b>				<b>21.350</b>

Tabla 11. Presupuesto de los moldes y carenado final

Descripción	Horas de taller	Precio/hora	Cantidad	Precio final(€)
Modelo en clay	538	35	1	18.830
Molde 1	20	35	1	700
Molde 2	30	35	1	1050
Molde 3	10	35	1	350
Carenado	60	35	1	2100
<b>Precio total del procesado</b>				<b>23030</b>



*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

El presupuesto global del carenado es el siguiente:

Tabla 12. Presupuesto global del carenado

<b>Presupuesto conjunto</b>	<b>Precio</b>
Material global	1349,54
Modelo en arcilla	21.350
Moldes + carenado	23.030
<b>Carenado total</b>	<b>45.729,54</b>

## 14 Pliego de condiciones

### 14.1 Medidas generales

Las cotas generales del conjunto estándar son:

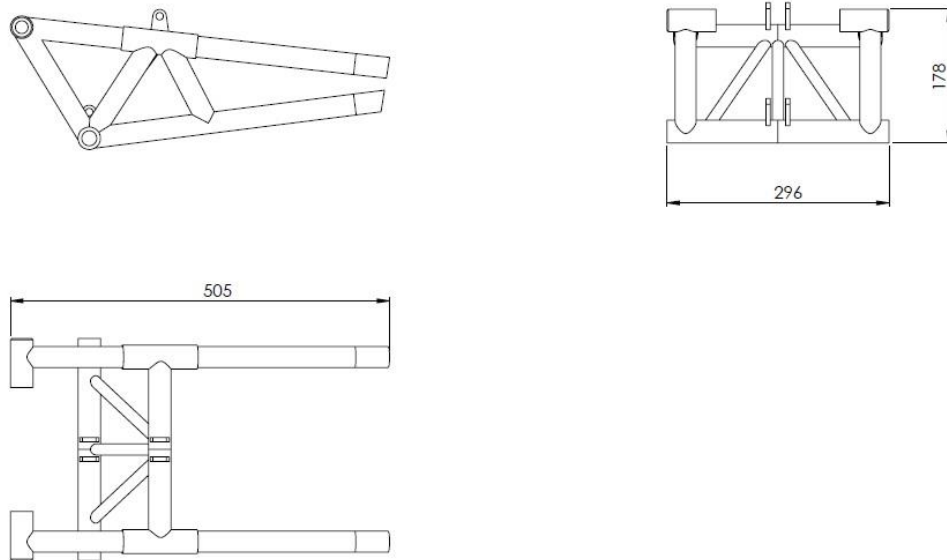


Figura 135. Medidas generales del basculante

Queda terminantemente prohibida la modificación de cualquiera de los elementos del bastidor sin una autorización explícita del departamento de basculante.

### 14.2 Vida útil

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

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

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

### 14.3 Especificación de elementos

#### 14.3.1 Elementos fabricados

Todos los elementos fabricados por los diferentes contratistas deberán reunir todas aquellas propiedades indicadas en los anexos adjuntos al proyecto y en las especificaciones en los planos.

#### 14.3.2 Componentes comprados

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

### 14.4 Transporte

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

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

### 14.5 Materiales

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

- Tubos de 28mm de diámetro interior, 2mm de espesor y una disposición de las fibras de un 75% a 0º y el 25% restante a  $\pm 45^\circ$ .
- El laminado se realizará con fibra de carbono pre-preg de 200gr.

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

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

### 14.6 Condiciones de montaje

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

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

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

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

#### 14.7 Advertencia de seguridad

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

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

## 15 Conclusiones

Las motocicletas son unos vehículos muy complejos, hay mucho arte y mucha ciencia en ellas, aunque los cálculos no indican el correcto funcionamiento. La comunicación entre el piloto y la motocicleta es básica y fundamental para verificar su diseño.

Los cálculos realizados en este proyecto indican que constructivamente el diseño es bueno. Matemáticamente no se ha podido calcular el valor de rigidez del basculante, los parámetros que definen dicho valor se consiguen a partir de analizar otras motocicletas, ya que estos parámetros son empíricos.

Nunca una moto es mejor por ser más rígida, ni por ser más elástica. El arte es encontrar un punto de equilibrio entre ambos valores que comunique al piloto unas óptimas sensaciones. Por lo tanto, hasta que el piloto no conduzca el prototipo, no se podrá verificar el diseño del basculante.

## 16 Líneas futuras

Debido al calendario de Motostudent, del cual hay que cumplir unos plazos de entrega, este proyecto se condiciona en función de esto, así que existe una serie de puntos a mejorar en caso de continuar este proyecto:

- El diseño de los elementos que forman el conjunto del tren trasero se podría concretar, al igual que la tornillería correspondiente, pudiendo aportar planos de cada pieza, del conjunto y del ensamblaje del tren trasero.
- El estudio del sistema de bieletas mediante el software de Tony Foale no se contempla en este proyecto, pero podría incluirse en una continuación del mismo debido a que dicho software es muy completo para el cálculo de las suspensiones, del sistema de bieletas y del comportamiento del conjunto de la motocicleta.
- Debido a los inputs de tiempo, no se ha podido completar el mecanizado de los casquillos de aluminio antes de la entrega del proyecto. Dicho aspecto hubiera sido interesante para pesar cada casquillo y sacar conclusiones del peso calculado en el software de diseño y el peso real.
- Los cálculos realizados mediante ordenador orientan para dar una orden de magnitud en cada situación descrita. Para una continuación del proyecto se podría profundizar en el aprendizaje del mallado para fibra de carbono. Tal y como se comenta en el apartado 9, la malla que se utiliza es una malla lineal en que todos los esfuerzos tienen el mismo valor en todas las direcciones, y por lo tanto, no es válido para la fibra.
- Además del punto anterior, se podría calcular una situación más, en las que actúen cargas que provoquen torsión. Dicha situación se da cuando la motocicleta está realizando un paso por curva, la motocicleta frena para entrar en la curva y durante un instante no acelera, cuando se encuentra en plena curva y empieza a acelerar, la fuerza centrífuga empuja al vehículo hacia el exterior de la curva, mientras que la fuerza que realiza la cadena cuando se acelera, provoca un movimiento contrario, provocando la torsión en el basculante. Esta situación no se realiza en este proyecto ya que el piñón y corona no son los definitivos, los que se detallan son el piñón correspondiente al motor y la corona correspondiente a la llanta.
- En los ensayos experimentales de las uniones laminadas, se realizan dos ensayos, uno para cada unión para conocer la tensión máxima de rotura. En el

*Diseño del basculante y proceso de fabricación del mismo y del carenado para una motocicleta de competición  
Gemma Solé Vilató*

segundo ensayo la unión se mantiene intacta puesto que antes se rompieron los tubos. Para la continuación del proyecto se podría realizar otra probeta de las mismas características y volver a ensayarla colocando la carga en el punto de inicio de la unión y poder comprobar, de esta manera, la tensión máxima de rotura.

## 17 Bibliografía

### 17.1 Bibliografía impresa

- FOALE, Tony: Motocicletas, comportamiento dinámico y diseño de chasis: El arte y la ciencia. Traducido por David Sanchez. Ed: Tony Foale (2003).
- COSSALTER, Vittore: Motorcycle dynamics. Ed: Cossalter, 2ª Edición (2006).
- ARIAS PAZ, M: Motocicletas. Ed: Dossat 2000, 29ª Edición (2003).
- BRADLEY, John: The racing motorcycle (volumen I y II). Ed: Bradley.
- COCCO, Gaetano: Motorcycle desing and technology handbook.

### 17.2 Bibliografía digital

- <http://www.nexusprojectes.com/>
- <http://fuhtah.com/>
- <http://www.uneco.es/>
- <http://www.lamoto2.es/>
- <http://www.bottpower.com/sp/potro-para-medir-rigideces-y-mas-cosas/>
- <http://www.motociclismo.es/>
- <http://solomoto.es>
- <http://www.soymoto.net/i-motostudent-en-motorland-4776>
- <http://www.clubmoto1.com/actualidad/noticias/motostudent-2012-las-universidades-de-barcelona-y-turin-ganan-la-segunda-edicion>
- <http://www.motociclismo.es/deporte/velocidad/articulo/2-edicion-de-motostudent-aprender-creando>
- Modelado, análisis y simulación de un chasis de motocicleta. Patxi Vergara Culebras, Universidad Carlos III de Madrid (2011).
- Diseño y cálculo estructural del chasis de una motocicleta de competición. Ernesto Limousin Aranzabal y César Díaz de Cerio García, Universidad Pública de Navarra (2010).



## **18 Agradecimientos**

Des del equipo MotoSpirit se agradece toda la ayuda monetaria que se ha recibido por parte de la ETSEIAT, en concreto del programa Inspire y del departamento de resistencia de materiales, además de diferentes instituciones públicas.

A parte, se agradece el apoyo y aporte de contactos e instalaciones de la EET, además de la total disponibilidad del operario de INTEXTER por dedicarse plenamente al proyecto y poder realizar todos los casquillos de aluminio del chasis, al laboratorio de materiales por la utilización de la maquinaria para realizar ensayos. Además, se le agrade al gerente de Nexus projectes, una persona cualificada que mostró interés por el proyecto desde el principio, la confianza en cuanto a utilización de sus instalaciones, al tiempo dedicado al proyecto, a los conocimientos aportados y al trato con los componentes del equipo. En Nexus se realizan todas las tareas relacionadas con la fibra, desde los insertos hasta el montaje final del conjunto chasis.

El departamento de carenado está realmente agradecido a Uneco y a Fuhtah. Uneco por ser uno de los principales patrocinadores del prototipo debido al aporte de material, el total de todo ello asciende al material necesario para la fabricación del modelo en arcilla, de los moldes y del carenado final. Fuhtah por dedicarse de pleno en el proyecto, cediendo un lugar de trabajo, herramientas, conocimientos y experiencia. No aportaron un valor monetario, pero sin la confianza y la dedicación empleada por parte de los gerentes de Fuhtah, el carenado no hubiera sido posible.

Personalmente le agradezco el trabajo en equipo, la buena comunicación, y la plena dedicación a mi compañero de departamento, David Jiménez, con quien he formado un buen y gran equipo. Además de todo el apoyo incondicional de mi familia más cercana y de mis compañeros de MotoSpirit.