

F.J. Garzón Lucena<sup>a</sup>, C. López Taboada<sup>a</sup>, G. Castillo López<sup>a</sup>,  
F. García Sánchez<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería Civil, de Materiales y de Fabricación, Universidad de Málaga, Dr- Ortiz Ramos s/n, 29071 Málaga, España

## Diseño y fabricación de un colín de moto de competición autoportante realizado en fibra de carbono

### RESUMEN

#### Historia del artículo:

Recibido 5 de Mayo 2017

En la versión revisada 5 de Mayo 2017

Aceptado 31 de Mayo 2017

Accesible online 21 de Junio 2017

#### Palabras clave:

Colín de moto

Micromecánica

Optimización

Elementos Finitos

Bolsa de vacío

Este trabajo presenta el diseño, cálculo y fabricación del colín de moto de competición, que ha participado en la edición MotoStudent 2016, celebrada en octubre de 2016 en el circuito de Alcañiz, representando a la Universidad de Málaga. En esta ocasión se presentaban dos motos, una dentro de la categoría Petrol (motor de 4 tiempos y 250 cc) y otra en la categoría Electric. Se trata de una estructura autoportante que sustituye a la utilización del subchasis y colín tradicionales, con el objetivo de que la solución sea más ligera que el conjunto anterior.

Como material se ha seleccionado un tejido de carbono sarga 2x2 de 3K y 200 g/m<sup>2</sup> y resina epoxi Resoltech 1070/1074. El proceso de fabricación seleccionado ha sido el moldeo manual y posterior compactado con bolsa de vacío. Mediante la utilización de modelos micromecánicos y a partir del porcentaje de fibra, se han estimado las propiedades de la lámina elemental de material compuesto. Dichas propiedades han sido implementadas en el programa de elementos finitos Patran-Nastran para la optimización de la pieza.

Una vez diseñado el colín, se ha fabricado un modelo de la pieza a partir del mecanizado de placas de madera MDF que ha servido para fabricar el molde de la pieza en fibra de vidrio.

Los colines diseñados fueron homologados por la organización de la competición. El colin desarrollado es un 50% más ligero que la solución actual. El molde fabricado permite la obtención de varias piezas con la consiguiente reducción de costes.

## Design and manufacture of a self-supporting racing motorcycle seat made on carbon fiber.

### ABSTRACT

#### Keywords:

Motorcycle tail

Micromechanics

Optimization

Finite elements

Vacuum bag

This work presents the design and manufacture of the structural tail (subchassis+seat) of a racing motorbike which has participated in the MotoStudent 2016 edition, held in October 2016 on the Alcañiz circuit, representing the University of Malaga. Two motorcycles were presented, one inside the Petrol category (4 stroke engine and 250 cc) and another one in the Electric category. It is a self-supporting structure that replaces the use of the traditional subchassis and seat, in order to save weight.

As a material we selected a 2x2 twill carbon fabric 3K, 200 g/m<sup>2</sup> and Resoltech 1070/1074 epoxy resin. The selected manufacturing process has been manual molding and vacuum bag. Taking into account the estimated fiber percentage, the properties of the elemental sheet of composite material have been estimated using micromechanical models. These properties have been implemented in the finite element program Patran-Nastran for the optimization of the part.

Once it has been designed, a model of the part has been fabricated on MDF wood which has been used to manufacture the mold of the piece in fiberglass.

The designed part was homologated by the organization of the competition. The developed part is 50% lighter than previous solution. The manufactured mold allows to produce more pieces with the consequent cost reduction.

## 1 Introducción

MotoStudent es una competición internacional promovida por la organización sin ánimo de lucro Moto Engineering Foundation, junto con el parque tecnológico del motor de Aragón (TechnoPark MotorLand), que tiene como objetivo que los estudiantes universitarios de todo el mundo participen en el reto que supone diseñar, fabricar y validar una moto de competición de la categoría Moto3.

El equipo UMA Racing Team ha participado en la última edición (2016) en representación de la Universidad de Málaga, tanto en la categoría Petrol, para motos de combustión (motor de 4T y 250 cc), como en la categoría Electric.

Habitualmente un subchasis metálico es el encargado de soportar las acciones del piloto y transmitir las al chasis, mientras que el colín (parte del carenado trasero de la motocicleta) es el encargado de proporcionar una superficie de apoyo para el piloto y además tiene funciones ergonómicas y aerodinámicas (Figura 1).

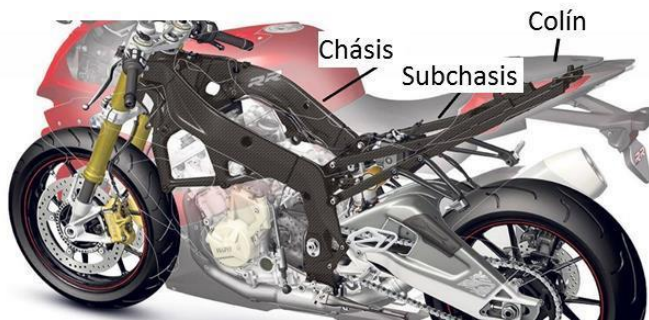


Figura 1. Conjunto subchasis-colín.

El objetivo de este trabajo es diseñar y fabricar un colín autoportante realizado en fibra de carbono, con el fin de aligerar la solución conjunta y simplificar el montaje.

## 2 Cuaderno de especificaciones

El colín autoportante a diseñar debe cumplir las siguientes especificaciones:

- Posicionamiento del piloto sobre la moto. Tanto la altura como la inclinación y la distancia a la pipa de la dirección se definieron con el objetivo de mejorar la comodidad del piloto y el posicionamiento del centro de masas.
- Anclaje del colín al subchasis.
- Ergonomía y estética.
- Especificaciones mecánicas:
  - Condiciones de carrera. Una vez fijado el peso del piloto se definieron tres condiciones de carga en carrera: paso por curva, frenada y aceleración. Para todos estos casos de carga se definieron los desplazamientos admisibles tanto lateral como verticalmente.
  - Carga de test de la organización. Carga de 250 kg vertical y centrada en el colín. Las deformaciones permanentes se deben mantener por debajo del 10%.

## 3 Materiales y proceso de fabricación seleccionados.

Se ha seleccionado un tejido equilibrado de carbono sarga 2x2 de 3K y 200 g/m<sup>2</sup> y resina epoxi Resoltech 1070/1074. El proceso de fabricación seleccionado ha sido el moldeo manual y posterior compactado con bolsa de vacío. Este proceso se ha seleccionado fundamentalmente por permitir obtener buenas propiedades mecánicas y no ser necesario un equipamiento excesivamente caro.

Para realizar la caracterización mecánica del material, se han elaborado placas utilizando el mismo procedimiento de fabricación que posteriormente se va a utilizar en la fabricación de la pieza. Mediante chorro de agua se han obtenido las probetas para realizar los ensayos de caracterización:

- Porcentaje de fibra según ASTM D3171-99.
- Ensayo de tracción según ASTM 3039-76.
- Ensayo de cizalladura intralaminar según ASTM D3518M.

Ahora bien, a la hora de realizar la simulación mediante elementos finitos, son necesarias constantes elásticas adicionales así como propiedades de rotura que permitan determinar el índice de fallo. Algunos de los ensayos necesarios son complejos de realizar y requieren una especialización y utillajes generalmente no disponibles.

Para resolver este problema, se ha utilizado la teoría de placas laminadas, las leyes de micromecánica propuestas por S.W. Tsai [1] y se ha seguido el modelo de simulación de un tejido propuesto por Think Composites [2].

Como software se ha utilizado la hoja excel INPLANE de MIC-MAC [2] que además de los modelos micromecánicos propuestos por S.W.Tsai [1] incluye una base de datos de materiales unidireccionales (UD) que pueden ser tomados como referencia. Esta hoja de cálculo permite llevar a cabo un análisis tanto micro (MIC) como macro (MAC) de la lámina y del laminado objeto del estudio.

Así, el tejido equilibrado utilizado se ha modelizado mediante dos láminas  $[0/90]_n$ . Partiendo de las propiedades obtenidas en los ensayos de tracción y del porcentaje de fibra, se ha introducido el % de fibra y se ha modificado el módulo de elasticidad de la fibra  $E_f$ . De esta manera se ha tratado de tener en cuenta por un lado el proceso de fabricación y por otro la ondulación de la fibra dentro del tejido que reduce la rigidez de la lámina en comparación con el UD.

A partir de ese momento, las constantes elásticas del tejido están correctamente modelizadas.

En el caso del comportamiento a rotura del tejido, a diferencia del laminado UD  $[0/90]_n$  que primeramente rompe una lámina (RPL) y posteriormente la segunda (RUL), la rotura del tejido es brutal. Por tanto, el modelo UD láminas  $[0/90]_n$  ha sido modificado de manera que la rotura de la lámina sea catastrófica (RPL= RUL). Para ello se ha ajustado el valor de la resistencia a tracción de la matriz ( $X_m$ ).

Una vez determinadas las constantes elásticas se ha verificado que se cumplen las restricciones de las constantes elásticas de forma que se garantice que [3] :



- la matriz de flexibilidad sea simétrica,
- todos los términos de la diagonal tanto de la matriz de flexibilidad como de la rigidez deben ser positivos.

A partir de este momento es posible simular los ensayos necesarios para tener la caracterización completa de la lámina elemental.

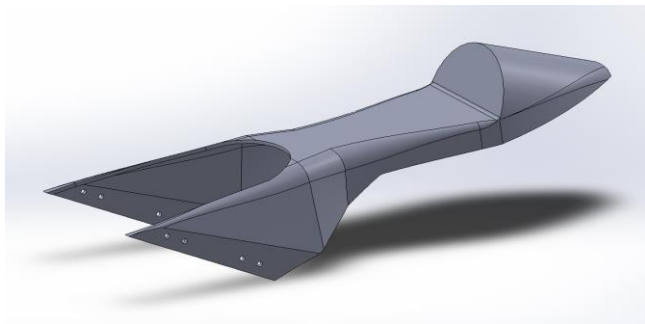
En la tabla 1 se pueden ver las propiedades del tejido utilizado.

**Tabla 1.** Propiedades de la lámina elemental de tejido

Propiedad	Valor	Propiedad	Valor
$\% V_f$	42	$G_{xz} (GPa)$	3,6
$e_{lámina} (mm)$	0,27	$X (MPa)$	433
$E_x (GPa)$	58	$Y (MPa)$	433
$E_y (GPa)$	58	$X' (MPa)$	609
$\nu_{xy}$	0,03	$Y' (MPa)$	609
$G_{xy} (GPa)$	3,6	$S (MPa)$	74
$G_{yz} (GPa)$	3,6		

## 4 Diseño y validación mediante elementos finitos.

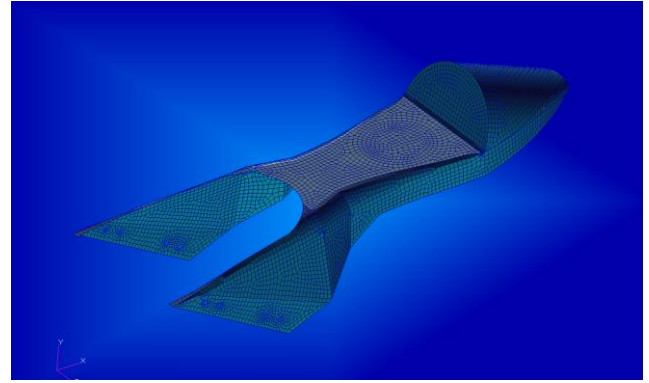
Para el diseño del colín se ha empleado SolidWorks [4]. En la Figura 2 se puede ver el diseño final que responde a las especificaciones descritas anteriormente.



**Figura 2.** Diseño del colín autoportante.

Esta geometría se ha exportado a PATRAN 2014 [5] y se ha realizado un modelo de elementos finitos mediante elementos tipo Shell de cuatro nodos (Figura 3). El laminado introducido ha sido  $[0_n]_s$ . Cada una de las láminas consideradas representa una capa de tejido con las propiedades indicadas en la tabla 1.

Como condiciones de contorno se han fijado los puntos de anclaje del colín en el chasis de la moto. Finalmente, como condiciones de carga se han impuesto los casos de carga descritos en el apartado 2.

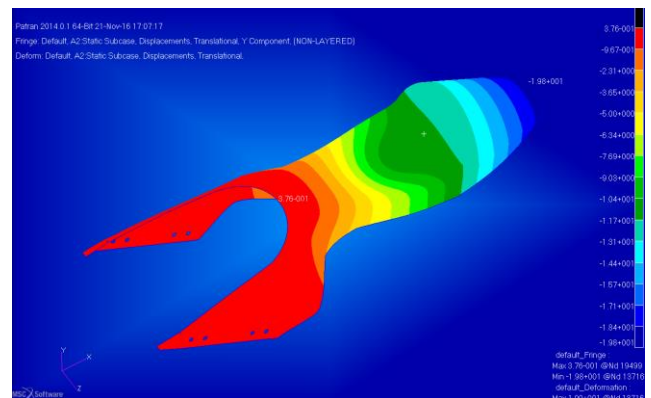


**Figura 3.** Modelo de elementos finitos.

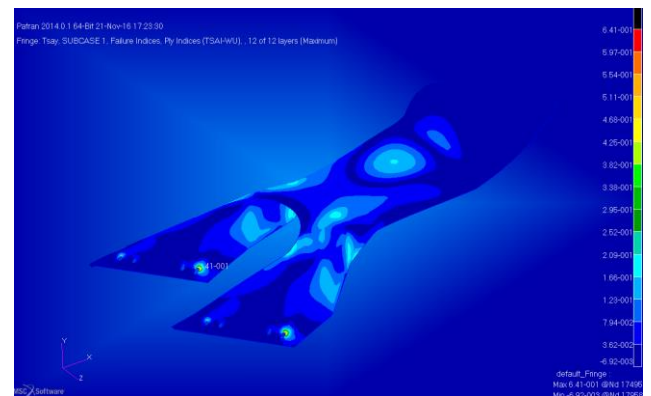
El solver utilizado ha sido NASTRAN 2014 [6], realizándose dos cálculos diferentes para cada caso de carga:

- el cálculo elástico lineal para obtener los desplazamientos y el estado tensional y
- el cálculo a rotura mediante el criterio de TSAI-WU, obteniéndose el índice de fallo crítico.

El estudio de sensibilidad de mallado se ha realizado teniendo en cuenta como parámetro a optimizar el índice de fallo del criterio de TSAI-WU, dando como resultado un tamaño general de elemento de 5 mm y localmente en los puntos de anclaje, un tamaño de 2,5 mm. En las Figuras 4 y 5 se pueden ver a modo de ejemplo los dos tipos de resultados.



**Figura 4.** Resultados de desplazamiento: ensayo de la organización. Desplazamiento máximo 19,8 mm.



**Figura 5.** Resultados de tensiones: ensayo de la organización. Índice de fallo de Tsai-Wu 0,641 < 1.



Con objeto de optimizar el modelo, se han definido diferentes espesores de laminado dependiendo de las diferentes zonas del colín, con un espesor máximo de 3,3 mm ( $[0_6]_s$ ) en los planos de anclaje y en la zona de aplicación de la carga de la organización.

A la hora de verificar los anclajes, además de los resultados obtenidos mediante elementos finitos, se han extraído los esfuerzos máximos a los que están sometidos los anclajes y se ha verificado su integridad [7]

En la tabla 2 se puede ver un resumen de los resultados obtenidos.

**Tabla 2.** Resultados de los diferentes casos de carga.

	Ind. fallo < 1	Desp. x (mm)	Desp. y (mm)	Desp. z (mm)
Carga de la organización	0,641	0	19,8	0
Paso por curva	0,722	2,76	14,4	10,6
Frenada	0,002	0,005	0,023	0,03
Aceleración	0,153	0	0,135	0

Se puede observar que tensionalmente el caso más restrictivo es el de paso por curva. Con respecto a la rigidez, los casos de carga más restrictivos son la carga de la organización (rigidez vertical) y el paso por curva (rigidez lateral).

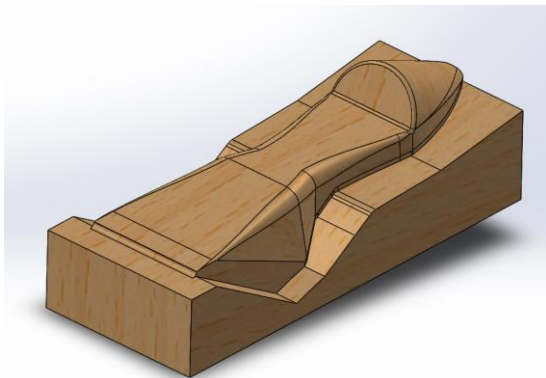
## 5 Fabricación.

### 5.1 Proceso de fabricación seleccionado.

Tal y como se ha indicado anteriormente el proceso de fabricación seleccionado ha sido el moldeo manual y compactado mediante bolsa de vacío. La fabricación se ha realizado en tres fases: modelo, molde, piezas.

### 5.2 Fabricación del modelo.

Teniendo en cuenta las necesidades de desmoldeo de la pieza así como la necesidad de realizar el cierre de la bolsa se vació se diseñó el modelo que permitiría posteriormente fabricar el molde (Figura 6).



**Figura 6.** 3D del modelo.

Dicho modelo se fabricó mediante encolado de tableros de fibra de media densidad (MDF) y su posterior mecanizado mediante CNC. En la Figura 7 se puede ver el modelo final después de lijado y acabado mediante gel coat.



**Figura 7.** Modelo fabricado en MDF mediante mecanizado CNC.

### 5.3 Fabricación del molde.

Utilizando como molde el modelo antes descrito, se procedió a fabricar el molde de la pieza laminando capas de mat de fibra de vidrio y de tejido con resina poliéster. En la Figura 8 se puede ver el molde final.



**Figura 8.** Molde.

### 5.4 Fabricación del colín.

Con objeto de facilitar el laminado de las capas de tejido se fabricaron diferentes preformas, que posteriormente fueron utilizadas para recortar la fibra de carbono.

Las preformas fueron dimensionadas previendo los solapes necesarios entre las diferentes capas, de manera a garantizar la transmisión de cargas entre láminas de forma segura.

En las Figuras 9 a 11 se puede ver las diferentes etapas de fabricación.







**Figura 9.** Laminado del colín de carbono.



**Figura 10.** Compactado mediante bolsa de vacío.



**Figura 11.** Pieza final antes de recantado.

### 5.5 Ensamblado y ensayos de validación.

Una vez recantadas las piezas fabricadas, se procedió a su ensamblado en ambas motos mediante tornillos de sujeción (Figura 12).



**Figura 12.** Motocicleta de combustión.

Finalmente y como fase previa a la competición, se llevaron a cabo las pruebas de verificación en el circuito de Alcañiz. Dichas pruebas eran por un lado la prueba de carga y por otro una prueba de conducción (Figura 13).



**Figura 13.** Prueba de conducción.

Todas las pruebas fueron pasadas con satisfacción por lo que posteriormente se pasó a la fase de competición.

## 6 Conclusiones

Una vez finalizado el proceso de diseño, análisis y fabricación de todos los componentes, y tras hacer un estudio económico, las conclusiones alcanzadas son:

- La homologación de la moto realizada en Alcañiz muestra que el colín cumple con todas las especificaciones de diseño impuestos, tanto para la moto de combustión como para la eléctrica.
- El peso final del colín autoportante es un 50% inferior a la solución tradicional (colín + subchasis), aportando mayor rigidez y un mejor acabado estético.
- El estudio económico realizado, basado únicamente en la fabricación de dos piezas, muestra un coste excesivo de la solución final.
- Sin embargo, teniendo en cuenta que tanto el modelo fabricado como el molde no han sufrido degradación alguna durante el proceso de fabricación, se prevé poder fabricar en un futuro próximo otros colines, con la consiguiente reducción de costes globales.



## Referencias

- [1] Stephen W. Tsai, *Composites Design*, 4th ed. Dayton, Paris and Tokyo: THINK COMPOSITES, (1988).
- [2] *Notice d'utilisation des logiciels (MIC-MAC, GENLAM, LAMRANK, MATFIX)*. THINK COMPOSITES.
- [3] Ever J. Barbero, *Finite element analysis of composite materials*. New York: CRC Press, (2008).
- [4] Dassault Systemes, "SolidWorks," 2016. [Online]. Available: [http://help.solidworks.com/2016/spanish/SolidWorks/sldworks/c\\_introduction\\_toplevel\\_topic.htm](http://help.solidworks.com/2016/spanish/SolidWorks/sldworks/c_introduction_toplevel_topic.htm).
- [5] MSC *Patran. User's Guide*. MSC Software Corporation, (2014).
- [6] MSC *Nastran Quick Reference Guide*. MSC Software Corporation, (2014).
- [7] Daniel Gay, Suong V. Hoa, Stephen W. Tsai, *Composite Materials. Design and applications*. CRC Press, (2003)

