

A. Iriarte<sup>a</sup>, M. Segura<sup>a</sup>, C. Elizetxea<sup>a</sup>, N. Egidazu<sup>b</sup>, R. Labrador<sup>b</sup>, I. Lopez<sup>c</sup>, F. Burguera<sup>c</sup><sup>a</sup> División Industria y Transporte, Unidad Aeroespacial, TECNALIA, Mikeletegi Pasealekua 2, 20009 Donostia, España.<sup>b</sup> Desarrollo de producto, Polo Innovación, EDERTEK centro tecnológico, Isasi Kalea 6, Apto. 19, 20500 Mondragón-Arrasate, España<sup>c</sup> Ingeniería avanzada, BATZ, S. COOP, Torrea Auzoa, 2. 48140 Igorre, España

## Diseño y fabricación de componentes de automoción en material compuesto termoplástico (Parte I)

### 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:

Análisis

Diseño

RTM termoplástico

Composites termoplásticos

Ante las cada vez más restrictivas normativas medioambientales en cuanto a emisiones a la atmósfera, el sector del automóvil ha aumentado progresivamente el consumo de plásticos en los vehículos. El objetivo es introducir en el mercado componentes estructurales en materiales compuestos de última generación de forma competitiva y seriada, con la funcionalidad que ofrecen los elementos metálicos actuales.

En este estudio se presenta el rediseño de dos componentes de automoción actualmente fabricados en acero para su posterior producción mediante tecnología T-RTM (Parte II). Esta tecnología permite la elaboración de componentes en materiales compuestos de fibra continua y altas prestaciones con tiempos de ciclo cada vez más cortos.

En base al cuaderno de cargas que deben soportar los componentes y el comportamiento de las soluciones actuales obtenidas mediante estampación metálica se muestra un nuevo concepto de un pedal de freno y un brazo de suspensión cuya producción sea compatible con un proceso de T-RTM. Para el cálculo de ambos componentes se utilizan soluciones basadas en fibra de vidrio o de carbono y matriz de poliamida 6 (APA6).

## Design and manufacture of automotive components in thermoplastic composite (Part I)

### ABSTRACT

#### Keywords:

Analysis

Design

Thermoplastic RTM

Thermoplastic composites

Due to the increasing demands in environment regulations related to gases emissions, the automotive sector has gradually increased the plastic consumption in vehicles. The objective is to introduce in the market structural components made in latest generation composite materials in a serial and competitive way with the functionality of the present metallic parts.

In this work the redesign of two automotive metallic components that will be produced via thermoplastic RTM (Part II) is presented. This technology allows the manufacturing of high performance long fibre composite materials with shorter cycle times.

Based on the specifications of the components and the actual metallic solutions performance a new concept of a brake pedal and a control arm consistent with the manufacturing via a RTM thermoplastic process is addressed. For the calculations of both components, carbon or glass fibre with polyamide matrix (APA6) based solutions are used.

## 1 Introducción

La reducción del peso del vehículo es fundamental para mejorar el rendimiento de los combustibles y cumplir los requerimientos sobre emisiones contaminantes. De forma general, un 10% en la reducción del peso permite un ahorro en consumo de combustible de un 6 a un 8%. Ahora bien, los vehículos no deben ofrecer únicamente bajo peso, sino también seguridad, y al mismo tiempo, precios de mercado competitivos.

Los materiales de matriz polimérica se han ido introduciendo de manera progresiva en las diferentes partes del automóvil, sin embargo, su introducción en componentes estructuralmente exigentes es muy limitada. Es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan fabricar de forma viable (bajo coste de materias primas y ciclos de producción cortos y automatizados) materiales de altas propiedades mecánicas.

El proyecto BIHARKONP [1] propone migrar diferentes componentes de automoción de acero a material compuesto.

Dentro del marco de este proyecto se opta por el T-RTM como la vía de producción de los componentes seleccionados ya que se considera adecuado para la obtención de elementos de automoción de una manera eficiente y económica.

### 1.1 Componentes seleccionados

Se eligen dos componentes representativos: un pedal de freno (ver Figura 1) y un brazo de suspensión (ver Figura 2).



Figura 1. Pedal de freno en acero.



Figura 2. Brazo de control delantero en acero.

En el caso del brazo de suspensión, además del cálculo y análisis, este componente también ha sido fabricado y ensayado (Parte II).

## 2 Diseño

Se trata de sustituir un pedal de freno y un brazo de suspensión metálicos por sus versiones en plástico reforzado teniendo en cuenta las cargas que deben soportar y las limitaciones de procesado con un objetivo de reducción de peso de aproximadamente un 30%.

Una de las principales características del proceso de RTM es que se lleva a cabo en un molde cerrado por lo que la cavidad define la pieza y como consecuencia se obtiene buen acabado en las dos caras de la misma. Los porcentajes de fibra pueden ser elevados (50-55% en volumen) y por ello las propiedades mecánicas obtenidas también son elevadas y adecuadas para la elaboración de elementos estructurales de altas prestaciones.

### 2.1 Casos de carga.

En el caso del pedal de freno se acomete la fase de diseño del pedal utilizando el caso de carga denominado "Colapso de freno suelto" que supone la aplicación de una fuerza de 2500N en el punto de aplicación que se muestra en la siguiente figura:



Figura 3. Punto de aplicación de la carga en el ensayo "colapso de freno suelto".

Al modelo de elementos finitos se le aplican como restricciones una rotación libre en el extremo y rotaciones libres en la rótula. Para la simulación de la rótula se crea un nodo adicional al que se le restringen los desplazamientos en los tres ejes dejando libres las rotaciones. Este nodo se une a los nodos de la articulación mediante RBE2 (acoplamiento rígido).



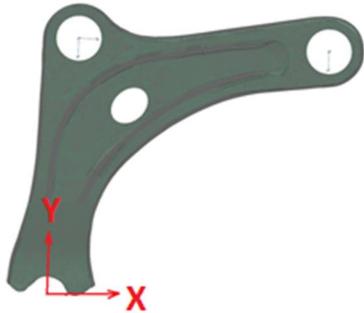
Figura 4. Condiciones de contorno aplicadas en el modelo de elementos finitos del pedal.

El criterio de aceptación de la nueva pieza en material compuesto es que el desplazamiento obtenido en el nuevo componente sea el mismo que el desplazamiento obtenido en la pieza original en acero sin producir rotura en el material. Para asegurar que las tensiones en cada una de las láminas se encuentran por debajo de los límites admisibles, en los modelos de elementos finitos se obtienen los índices SR (Strength Ratio) cuyo valor por encima de 1 asegura que las



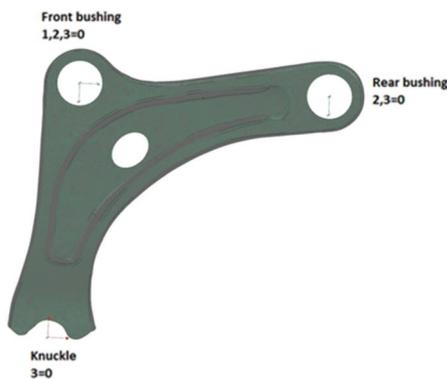
tensiones se encuentran por debajo de los límites de rotura del material.

Para el cálculo del nuevo brazo de suspensión en composite se decide adoptar los requerimientos de rigidez obtenidos para el modelo de la pieza original en acero (7,5KN/mm en dirección X y 97KN/mm en dirección Y). Además, el componente debe soportar 16KN en el eje X y 85KN en el eje Y (aplicadas independientemente) sin producir rotura en el material ( $SR > 1$ ) (ver Figura 5).



**Figura 5.** Dirección de las fuerzas a aplicar para el cálculo del brazo de suspensión.

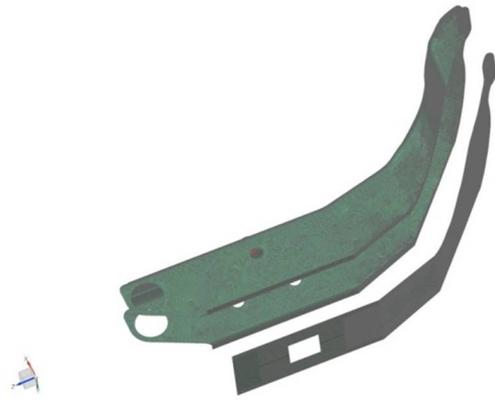
Las restricciones aplicadas son las que se muestran a continuación. Adicionalmente se crean elementos RBE2 para la unión de nodos de aplicación de cargas y condiciones de contorno a la estructura.



**Figura 6.** Restricciones aplicadas al modelo de elementos finitos del brazo de suspensión.

## 2.2 Alternativas de diseño

En el caso del pedal de freno se estudian tres geometrías diferentes con creciente dificultad de fabricación: perfil abierto, pedal cerrado por su parte posterior de una sola pieza y construcción del pedal en dos partes (un perfil superior con la forma de U similar al pedal metálico y una pieza inferior para cerrar la geometría). Ambas piezas se obtendrían independientemente y se unirían mediante una etapa de adhesivado posterior (ver Figura 7):



**Figura 7.** Concepto de pedal de freno fabricado en 2 partes.

En cuanto al diseño del brazo de suspensión se analizan tres geometrías diferentes: misma geometría que la pieza original en acero, una geometría basada en la original pero completamente plana y una geometría en configuración de doble T reforzada como se muestra en la Figura 8:

Misma geometría que en acero	Geometría plana	Geometría doble T reforzada

**Figura 8.** Configuraciones analizadas en el caso del brazo de suspensión.

## 2.3 Materiales

Se selecciona un material de fibra de vidrio con APA6 como opción de construcción del pedal de freno con una orientación 80/20. Las propiedades se obtienen mediante ensayo y se muestran en la Tabla 1.

El fallo de un laminado normalmente se manifiesta por rotura de las fibras, iniciación y crecimiento de grietas en la matriz, rotura unión fibra-matriz o delaminación (separación entre láminas del laminado). Los límites de rotura del material seleccionado se incluyen en la siguiente tabla junto a las propiedades del material:



	Vidrio 80/20
%V	48
$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	1830
E <sub>1</sub> (Gpa)	31,4
E <sub>2</sub> (Gpa)	11,6
$\sigma_{1T}$ (Mpa)	670
$\sigma_{2T}$ (Mpa)	190
$\sigma_{1C}$ (Mpa)	312
G <sub>12</sub> (Gpa)	2
$\tau_{12}$ (Mpa)	31,7

**Tabla 1.** Propiedades del material utilizado para la simulación del pedal de freno. Propiedades mecánicas de lámina (FV/PA6-80/20).

En el caso del brazo de suspensión las simulaciones preliminares nos obligan a seleccionar un material con fibra de carbono para poder cumplir con los requerimientos. Se trata de un material basado en fibra de carbono con una distribución en porcentaje de fibras de 50/50 (en orientación 0/90) cuyas propiedades se han obtenido de forma experimental a partir de material manufacturado. Las propiedades de este material se muestran en la Tabla 2 donde también se incluyen los límites de rotura:

	Carbono 50/50
%V	52
$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	1440
E <sub>1</sub> = E <sub>2</sub> (Gpa)	54
$\sigma_{1T}= \sigma_{2T}$ (Mpa)	772
$\sigma_{1C}= \sigma_{2C}$ (Mpa)	277
G <sub>12</sub> (Gpa)	1,5
$\tau_{12}$ (Mpa)	70

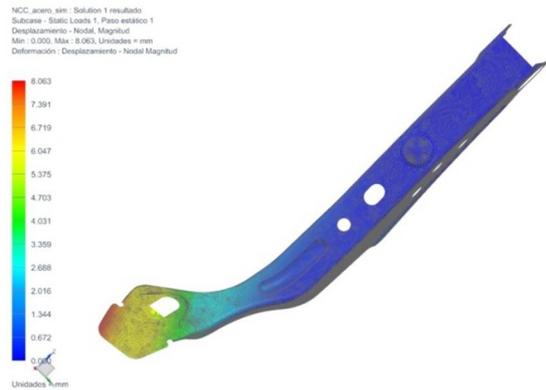
**Tabla 2.** Propiedades del material utilizado para la simulación del brazo de suspensión. Propiedades mecánicas de lámina (FC/PA6-50/50).

Los laminados se evalúan utilizando el criterio de Tsai-Wu.

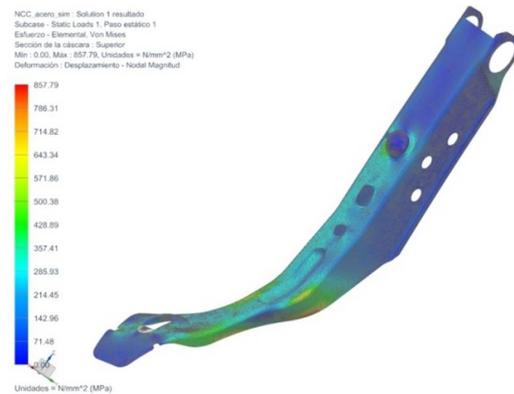
### 3 Resultados

#### Pedal de freno

Se resuelve el modelo original en acero (3 mm de espesor) con la carga definida en el apartado 2.1 obteniéndose los siguientes contornos de desplazamientos y tensiones:



**Figura 9.** Modelo pedal acero. Contorno de desplazamientos (Máx. 8,063mm).

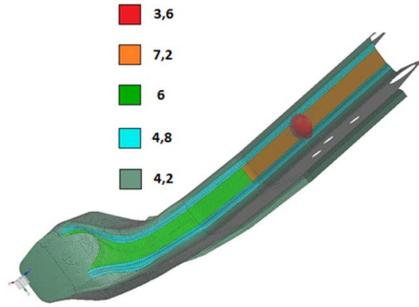


**Figura 10.** Modelo pedal acero. Contorno de tensiones de Von Mises (Máx. 857,79mm).

A partir de los resultados del modelo de pedal en acero se simula el nuevo pedal teniendo en cuenta que su fabricación se abordará únicamente siguiendo la tecnología T-RTM. En este sentido se analizan las tres opciones mencionadas anteriormente: geometría de pedal abierto, geometría de pedal cerrado construido en una única pieza y por último la producción en dos piezas del perfil del pedal abierto y la tapa posterior y adhesivado de ambas piezas.

Además se realizan una serie de modificaciones de la geometría teniendo en cuenta las limitaciones geométricas facilitadas por el suministrador. En este sentido se ha trabajado en la definición de un perfil con un nervio central con mayor grosor para tratar de aumentar la rigidez tratando de compensar la disminución en la rigidez del material (ver Figura 11). Los resultados de la simulación junto con las limitaciones de fabricación determinan que la opción más favorable es la construcción del pedal en dos partes posteriormente adhesivadas.





**Figura 11.** Espesores asociados a los elementos que conforman el pedal.

La obtención de este nuevo pedal de material compuesto supone una reducción del peso del componente de un 42% (683gr del pedal original frente a 394gr del pedal en plástico reforzado).

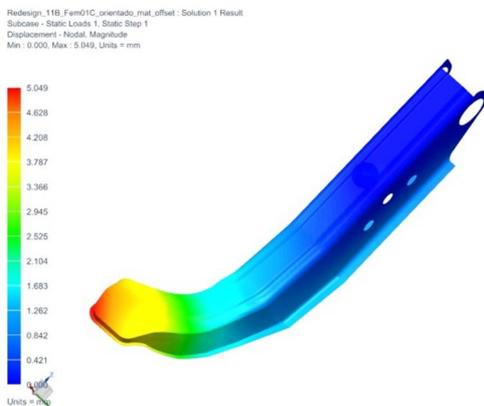
La configuración de laminado óptima para reducir al máximo los desplazamientos manteniendo las tensiones por debajo de los límites admisibles para la configuración de cargas estudiada es una configuración con las láminas interiores orientadas en dirección longitudinal ( $0^\circ$ ) y las capas exteriores orientadas en una configuración de  $\pm 45^\circ$  (ver Figura 12).

Thickness	Angle	Ply	Material
0.600	45.0	7	Vidrio_80_20
0.600	-45.0	6	Vidrio_80_20
0.600	0.0	6	Vidrio_80_20
0.600	0.0	4	Vidrio_80_20
0.600	0.0	3	Vidrio_80_20
0.600	-45.0	2	Vidrio_80_20
0.600	45.0	1	Vidrio_80_20

**Figura 12.** Configuración de laminado optimizada.

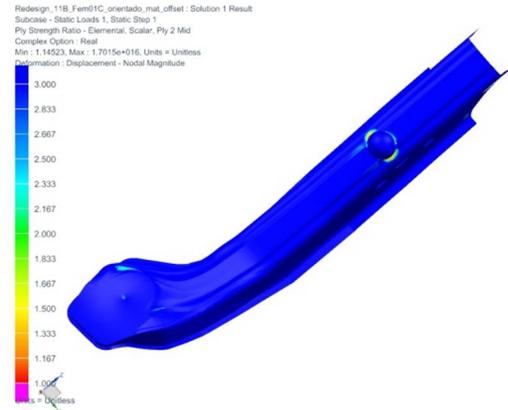
En base a las propiedades de un adhesivo comercial de tipo estructural se ha dimensionado el espesor y la anchura de solape del adhesivo para soportar las cargas.

En las siguientes figuras se muestran el contorno de desplazamientos y tensiones. El máximo desplazamiento obtenido es de 5mm (por debajo de los 8mm obtenidos para el modelo original en acero).



**Figura 13.** Contorno de desplazamientos para el pedal de freno en material compuesto (Desplazamiento máx.=5mm).

Para asegurar que las tensiones en cada una de las láminas se encuentran por debajo de los límites del material definidos en la Tabla 1, en los modelos de elementos finitos se obtienen los índices SR (Strength Ratio). En la siguiente figura se muestra el contorno de índices SR cuyos valores para prácticamente la totalidad del componente son superiores a 3 excepto para una pequeña zona alrededor de la rótula donde muy puntualmente se obtiene un valor de 1,14.



**Figura 14.** Contorno de índices SR para el pedal de freno en material compuesto.

**Brazo de suspensión**

Los análisis realizados para las tres geometrías estudiadas, misma geometría que en acero, geometría plana y geometría en doble T reforzada, muestran claramente que la configuración más ventajosa es la configuración en doble T reforzada con una reducción en peso superior al 40% respecto a la pieza original en acero. La configuración obtenida para cumplir con los criterios de rigidez definidos en el apartado 2.1 se muestra en la Tabla 3.

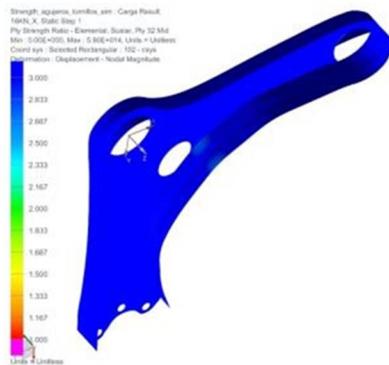
Opción	Espesor (mm)	Orientación	Peso (Kg)
Doble T con refuerzo UD	9,6	QI menos refuerzo (0)	1,36

**Tabla 3.** Espesores y pesos mínimos para cumplir con los requisitos de rigidez.

Además del criterio de rigidez, se tiene en cuenta que las tensiones originadas en cada una de las láminas del componente al aplicar los casos de carga establecidos no superan los límites definidos en la Tabla 2. Análogamente al caso del pedal de freno se obtienen los índices SR. El contorno de índices SR para el caso de carga X=16KN se muestra en la Figura 15. Los índices obtenidos son superiores

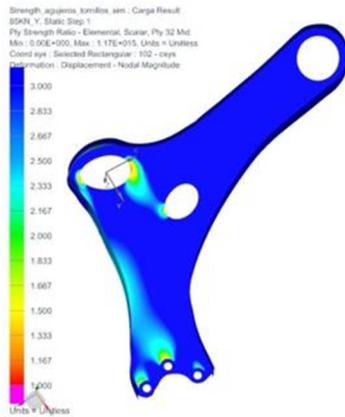


a 3 por lo que las tensiones que soporta el material están muy por debajo de los límites admisibles.



**Figura 15.** Contorno de índices SR para el caso de carga  $F=16\text{KN}$  aplicado en dirección X.

Para el caso de carga máxima aplicada en dirección Y ( $F=85\text{KN}$ ) los índices SR también son superiores a 1 en toda la pieza asegurando la integridad de la misma (ver Figura 16).



**Figura 16.** Contorno de índices SR para el caso de carga  $F=85\text{KN}$  aplicado en dirección Y.

## 4 Conclusiones

Las propiedades de los materiales conseguidos mediante producción por T-RTM hacen posible la migración de componentes de automoción de acero a materiales compuestos de altas prestaciones. En este estudio se ha descrito el rediseño de dos componentes: un pedal de freno y un brazo de suspensión en los que además de obtener como resultado la configuración de los componentes que cumplen de manera simultánea los cuadernos de cargas y susceptibilidad de ser manufacturados mediante este proceso, se ha superado el objetivo de reducción de peso del 30%. Además, en el caso del brazo de suspensión, este componente ha sido validado a través de su fabricación y ensayo (Parte II).

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto Materiales Compuestos del Siglo XXI para Componentes estructurales de automoción BIHARKONP (ETORGAI 2014 Proyecto Integrado de Investigación Industrial) liderado por la

corporación BATZ, S.COOP con los siguientes socios industriales: CIKAUTXO, S.COOP, FAGOR EDERLAN, S.COOP., REINER E HIJOS, S.L. Además se ha contado con la colaboración de los siguientes Centros Tecnológicos de la Red Vasca: LEARTIKER, TECNALIA, CIKATEK y EDERTEK.

## Referencias

- 1 Materiales Compuestos del Siglo XXI para Componentes estructurales de automoción BIHARKONP (ETORGAI 2014) BATZ, S.COOP

