

ESTUDIO DE DESMONTABILIDAD Y DE FIN DE VIDA DE LA DE LA PUERTA DE UN C4 PICASSO

Daniel Justel Lozano^(P)

Sheila Espartero Martos

Mikel García Abaunz

Nagore Lauroba Izaguirre

Mondragon Unibertsitatea. Departamento de Mecánica y Producción Industrial

Carlos Muñoz Marzá

Rosario Vidal Nadal

Universitat Jaume I. Grupo de Ingeniería del Diseño. DMEC

Abstract

The car sector, considering the necessity of reducing the energetic demand and the environmental impact of the vehicles, needs to lighten their weight. The lightening strategy to follow, so as in other sectors, is based on the massive usage of plastics and composites – which gives a bigger potential of lightening than steel and alloys.

However, the improvements that can be achieved when lightening the weight of the vehicle – reduction of fuel consumption and pollution in the usage phase- can be counteracted if those materials which make possible this improvements are simply placed in a dump at the End Of Life (EOL) of the product.

This communication analyses the End of Life and dismantability of an actual C4 Picasso door to compare it with a door made of composite material. This way, it will be determined if the strategy of lightening to apply in the car sector is more respectful with the environment than the actual situation. As well, the best dismantling and EOL strategies will be identified for the car components made of composite materials.

Keywords: *disassembly; end of life; recycling; reuse.*

Resumen

El sector del automóvil, ante la necesidad de reducir la demanda energética y el impacto medioambiental de los vehículos, necesita aligerar el peso del vehículo. La estrategia de aligeramiento a aplicar, al igual que ha ocurrido en otros sectores, se basa en la utilización masiva de plásticos y composites –con mayor potencial de aligeramiento que los aceros y las aleaciones–.

Sin embargo, las mejoras que se pueden lograr al reducir el peso del vehículo –reducción del consumo de combustible y de la polución en la etapa de utilización del vehículo–, pueden ser contrarrestadas si los mismos materiales que posibilitan estas mejoras son simplemente depositados en vertederos en el fin de vida (*End Of Life*, EOL) de los vehículos.

La presente comunicación analiza el fin de vida y la desmontabilidad de una puerta del actual C4 Picasso para compararla con una puerta de material compuesto. De este modo, se determinará si realmente la estrategia de aligeramiento a aplicar en el sector del automóvil es más respetuosa con el medioambiente que la situación actual. Asimismo, se

identificarán las mejores estrategias de desmontaje y EOL para los componentes de automoción de material compuesto.

Palabras clave: *desmontaje; fin de vida; reciclaje; reutilización.*

1. Introducción

La contaminación debida a los gases de efecto invernadero es proporcional al consumo de combustibles fósiles. Si la mayor parte de la energía que precisa un automóvil en su ciclo de vida es consumida en la etapa de utilización, es lógico pensar que el aligeramiento del peso de los vehículos reducirá el consumo de combustible y con él la contaminación. Se estima que la reducción de un 10% de la masa del vehículo reduce en un 6-8% el consumo de combustible (Zhang, 2007).

Según datos del proyecto *Automotive Lightweighting Materials* (ALM) financiado por el Departamento de Energía de EEUU y el *United States Council for Automotive Research* (USCAR), utilizando aceros avanzados de alta resistencia (AHSS) y optimizando los procesos de fabricación, se reduciría entre un 15 y un 25% de la masa del vehículo. Si se utilizan composites reforzados con fibra de carbono (CFRP) dicha reducción estaría en el 25-70% de masa total - en función del tipo de fibra de carbono y el porcentaje utilizado- (Wall et al., 2005).

Las directivas de la Comisión Europea referidas a la contaminación atmosférica causada por los vehículos a motor obligan a reducir las emisiones de CO₂ por su contribución al calentamiento global. El objetivo de la estrategia comunitaria para reducir las emisiones de CO₂ de los turismos y aumentar el ahorro de combustible es alcanzar una cifra media de emisiones específicas de CO₂ de los turismos nuevos matriculados en la Unión Europea por debajo de 120 g de CO₂ /km a partir del 2005 o en 2010 como muy tarde (Comisión Europea, 2000).

Para cumplir la citada legislación, se deben disminuir en un 14% las emisiones de CO₂. Tomando como referencia un vehículo de 1400 kg (Tharumarajah & Koltun, 2007), la reducción de peso debería de ser de 280 kg – es decir, un 20% la masa del vehículo-.

Por lo tanto, la utilización de composites de fibra de carbono con el fin de aligerar el peso del vehículo, y reducir las emisiones al reducir la demanda energética, es fundamental para lograr los futuros objetivos legislativos. Sin embargo, se deberá de desarrollar un sistema de fin de vida adecuado que permita gestionar los composites en el fin de vida del vehículo, pues en el sistema actual son principalmente depositados en vertedero (Muñoz et al., 2008; Garraín et al., 2009).

En este sentido, se deberá coordinar la utilización de plásticos y composites con los objetivos marcados por la Directiva 2000/53/CE de Vehículos Fuera de Uso (VFU) – transpuesta a la legislación española por el Real Decreto 1383/2002. El objetivo de la Directiva VFU es minimizar la generación de residuos procedentes de los vehículos al final de su vida útil, fomentando la reutilización, el reciclaje y valorización energética de los componentes. Para ello dicha Directiva establece que para el año 2015 el 85% del peso del vehículo debe ser reciclable y reutilizable, llegando al 95% con la valorización energética.

2. Objetivos

En esta comunicación se pretende analizar el fin de vida y la desmontabilidad de una puerta del modelo Citroën C4 Picasso actual y compararla con una propuesta conceptual de la puerta fabricada con material compuesto. Se pretende determinar si realmente aplicando la estrategia de aligeramiento en el sector del automóvil permitirá sólo reducir la demanda energética, o por el contrario permitirá reducir, además, la generación de residuos en el fin de vida de los vehículos.

En primer lugar, se muestran las metodologías para la evaluación del EOL y del tiempo de desensamblado. Posteriormente, se analizarán con dichos métodos la puerta actual y la nueva puerta de composite, con el fin de valorar si la estrategia de aligeramiento estructural se adecuada a los objetivos de la Directiva 2002/53 para el EOL del coche.

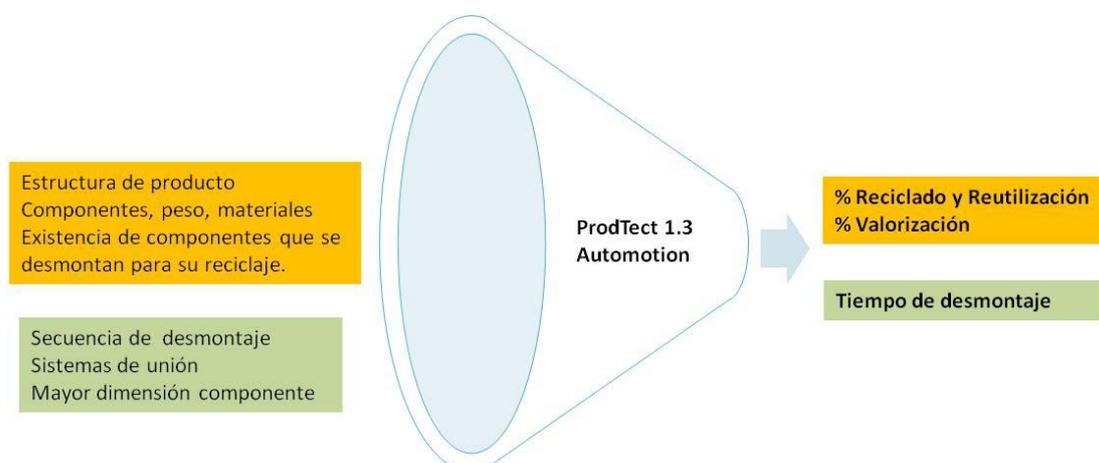
3. Método de evaluación del EOL y del tiempo de desensamblado

Aunque existen diferentes métodos para evaluar el EOL y la desmontabilidad (Justel et al., 2006; Torrano et al., 2008; Justel, 2009), en este estudio se ha seleccionado el programa ProdTect 1.3 Automotion, pues posibilita la realización de ambas evaluaciones conjuntamente.

El programa ProdTect 1.3 Automotion dispone de una versión para automóviles que evalúa el porcentaje de reciclabilidad y de valorización según la norma ISO 22628:2002. La norma ISO 22628:2002 especifica el método para el cálculo de la tasa de reciclado y la tasa de valorización del vehículo. Además, implementa el método *Methods Time Measurement* (MTM) para la determinación de los tiempos y costes de desensamblado.

La Figura 1 muestra la información necesaria para que el programa ProdTect 1.3 Automotion determine las tasas de reciclado y valorización, así como los tiempos de desensamblado. Para la determinación de los porcentajes de reciclado y reutilización es necesario conocer: la estructura del producto, los materiales de los que se compone cada pieza del producto y su peso. Para la estimación del tiempo de desensamblado es necesario, además de los datos anteriores, conocer: la secuencia de desensamblado, el tipo de unión, la herramienta de desensamblado (alicates, destornilladores, etc.), parámetros específicos de la pieza -forma básica, longitud característica, accesibilidad- y la cantidad de uniones específicas -número de tornillos idénticos, número de clipajes, etc.

Figura 1. Requerimientos y resultados que ofrece ProdTect 1.3.



4. Casos de Estudio

4.1 EOL de puerta actual vs. Puerta de compuesto

4.1.1 EOL de puerta actual

El actual modelo de puerta del Citroën C4 Picasso (Figura 2), consta de 21 subconjuntos (Tabla 1).

Figura 2. Puerta delantera izquierda modelo Citroën C4 Picasso.



Con el fin de poder determinar los valores de reciclado, reutilización y valorización de la puerta, se ha realizado un análisis exhaustivo de los materiales que conforman los subconjuntos. En la Tabla 1 se muestran los materiales que componen cada subconjunto de piezas y, en la Tabla 2 se muestran los pesos y porcentajes de los mismos agrupados en familias de materiales.

Como se puede apreciar los materiales con mayores porcentajes en peso son los férricos con un 71%. Esto es debido a que más de la mitad del peso de la puerta corresponde a la estructura cuyo material es acero. Le siguen los polímeros termoplásticos con un 13,89% y el vidrio con un 8,13% respectivamente.

Tabla 1. Materiales de los que se compone la puerta del modelo C4 Picasso Actual.

Nº	Subconjuntos	Materiales	Peso [g]
1	Unión puerta – Carrocería	Material Férrico	300
2	Contactor Elevalunas	Termoplástico	107
3	Empuñadura	Termoplástico	98
4	Subconjunto Panel	Termoplástico	3.000
5	Mando Empuñadura Interior	Termoplástico	119
6	Soporte de Mando de Empuñadura Interior	Termoplástico	107

Nº	Subconjuntos	Materiales	Peso [g]
7	Sistema Altavoz	Termoplástico / Elastómero	621
8	Retrovisor	Termoplástico / Elastómero	270
9	Motor Elevalunas	Termoplástico / Termoestable / Elastómero / Material Férrico / Cobre	624
10	Láminas de Estanqueidad	Termoplástico	58
11	Cerradura Puerta	Termoplástico / Elastómero / Aluminio	197
12	Maneta de Puerta	Termoplástico	73
13	Mecanismo de Guiado	Termoplástico / Elastómero	243
14	Mecanismo de Apertura Exterior	Termoplástico / Material Férrico / Aluminio	1.063
15	Luna Móvil de Puerta	Termoplástico / Elastómero / Vidrio / Material Férrico	3.585
16	Mecanismo Elevalunas	Termoplástico / Elastómero / Material Férrico	937
17	Absorbedor de Golpes	Termoplástico	181
18	Junta Antisuciedad de Puerta	Termoplástico / Elastómero	247
19	Cableado	Termoplástico / Elastómero / Cobre	388
20	Moldura de Protección Lateral	Termoplástico / Elastómero	198
21	Estructura	Material Férrico	19.800
TOTAL			30.746

Tabla 2. Pesos y porcentajes en peso de los materiales.

Tipo de materiales	Peso [g]	% en peso
Materiales Férricos	21.829	71,0
Aluminio	722	2,35
Cobre	302	0,98
Termoplásticos	4.272	13,89
Termoestables	10	0,03
Elastómeros	1.096	3,56
Vidrio	2.500	8,13
Otros	15	0,05
Total	30.746	100,00

Una vez obtenidos los porcentajes y pesos de los materiales, con ayuda de la herramienta ProdTect 1.3, se han determinado los porcentajes de reciclado, reutilización y valorización. La Tabla 3 muestra una comparación de los resultados obtenidos por el programa respecto de los objetivos marcados por la Directiva VFU para el año 2006 y 2015. Se puede decir que actualmente se cumple el objetivo marcado por la directiva para el año 2006, aunque no ocurre lo mismo con el objetivo fijado para el año 2015, donde el ratio de reciclado y reutilización es del 82,46% frente al 85% marcado por la directiva. En cambio el ratio de

reciclado, reutilización y valorización supera el valor estipulado por la Directiva llegando al 99,795%.

Tabla 3. Valores de reciclaje, reutilización y valorización según ProdTect 1.3

Utilización	Peso [g]	Ratio [%]	Directiva 2002/53, año 2006 [%]	Directiva 2002/53, año 2015 [%]
Reciclado de material	25.353	82,46		
Reutilización	0	0		
Valorización energética	5.330	17,36		
Deposición en vertedero	63	0,205		
Ratio de reciclado y reutilización	25.353	82,46	80	85
Ratio de valorización	30.683	99,795	85	95

El no cumplimiento de la Directiva 2002/53 para el objetivo marcado en el año 2015 es debido a que el programa ProdTect 1.3 supone que los polímeros y elastómeros serán valorizados energéticamente en cementeras, y no reciclados o reutilizados como sería deseable para poder alcanzar la tasa de reciclado marcada.

Sin embargo la valorización energética de los polímeros y elastómeros, aunque se está empezando a aplicar (SIGRAUTO, 2009), no es la práctica habitual actualmente. En el escenario actual de fin de vida los polímeros y elastómeros son depositados en su mayoría en vertedero, haciendo que los ratios reales de reciclado sean incluso inferiores a los resultados obtenidos mediante el software.

4.1.2 Puerta de Material compuesto

Como se ha podido ver en la Tabla 1, el componente de mayor peso de la puerta es la estructura. En el supuesto que la estructura fuese de material compuesto, se podría disminuir entre un 25-70% su peso. Por lo tanto, aligerando un 30% se lograría reducir el peso de la estructura de la puerta de 19,80 kg a 13,86 Kg.

Bajo este supuesto, y variando únicamente este componente, la distribución de pesos de la puerta propuesta sería la que se muestra en la Tabla 4, siendo el peso total de la puerta propuesta de 24,80 kg.

Los nuevos ratios de reciclaje, reutilización y valorización que obtendríamos se muestran en la Tabla 5.

En este supuesto, el porcentaje de material reciclado y reutilizado disminuiría considerablemente pues el programa ProdTect 1.3 considera por defecto que los plásticos se valorizan energéticamente. No se cumplirían los objetivos marcados por la Directiva 2002/53 para el año 2006 ni para el año 2015. Por tanto, sería necesario reciclar el material compuesto y parte de los polímeros para cumplir dichos objetivos.

Tabla 4. Pesos y porcentajes en peso de los materiales.

Tipo de materiales	Peso [g]	% en peso
Materiales Férricos	2.029	8,18
Material compuesto	13.860	55,87
Aluminio	722	2,91
Cobre	302	1,22
Termoplásticos	4.272	17,22
Termoestables	10	0,04
Elastómeros	1.096	4,42
Vidrio	2.500	10,08
Otros	15	0,06
Total	24.806	100,00

Tabla 5. Valores de reciclaje, reutilización y valorización para una puerta de material compuesto según ProdTect 1.3.

Utilización	Peso [g]	Ratio %	Directiva 2002/53, año 2006	Directiva 2002/53, año 2015
Reciclado de material	5.553	22,39		
Reutilización	0	0		
Valorización energética	19.190	77,36		
Deposición en vertedero	63	0,25		
Ratio de reciclado y reutilización	5.553	22,39	80	85
Ratio de valorización	24.743	99,75	85	95

4.1.3 Comparativa EOL

La Tabla 6 muestra una comparativa de las dos puertas respecto a los objetivos marcados por la Directiva 2002/53 para los años 2006 y 2015. Ninguna de las dos puertas cumple los objetivos exigidos.

Para lograr la tasa de reciclado y reutilización marcada por la Directiva 2002/53 para el año 2015, en la puerta actual sería necesario recurrir al desmontaje de los componentes poliméricos de modo que estos materiales pudieran ser separados y gestionados aparte, aumentando así el porcentaje de reciclado. Actualmente, el porcentaje en peso de los polímeros es de un 17,48% (Tabla 2), por lo tanto, si se lograra reciclar un 2,54% de polímeros se cumplirían los objetivos de la Directiva 2002/53 para el año 2015.

Aunque a nivel individual la puerta actual no cumple la Directiva, no sería necesario su desmontaje ya que si se cumple a nivel de vehículo completo (Espartero et al., 2009). Por el contrario, al aligerar la estructura con material compuesto se disminuye el porcentaje de acero en beneficio del plástico y, en el actual escenario de fin de vida (Espartero et al., 2009; Muñoz et al., 2008), éste se depositaría en vertedero o se valorizaría. Por lo tanto, para cumplir con la tasa de reciclado que establece la directiva sería obligatorio el desmontaje de la puerta.

Tabla 6. Valores de reciclaje, reutilización y valorización según ProdTect 1.3

Utilización	Puerta Actual	Puerta de compuesto	VFU 2006	VFU 2015
Ratio de reciclado y reutilización	82,46%	22,39%	80%	85%
Ratio de valorización	99,795%	99,75%	85%	95%

4.2 Tiempos de desensamblado de puerta actual vs. puerta de material compuesto

Como se ha visto en el apartado anterior, para que la puerta cumpla a modo individual con los objetivos marcados en la Directiva 2002/53 es necesario desmontar los subconjuntos que la conforman.

En el caso de la puerta actual, para lograrlo sería necesario reciclar o reutilizar al menos un 2,54% más de materiales de la puerta. Este incremento supondría desmontar al menos 1 kg de material polimérico.

Para la estimación del tiempo de desensamblado se han introducido en el software ProdTect 1.3., la secuencia de desensamblado, el tipo de unión, la herramienta de desensamblado (alicates, destornilladores, etc.), parámetros específicos de la pieza -forma básica, longitud característica, accesibilidad- y la cantidad de uniones específicas -número de tornillos idénticos, número de clipajes, etc. En la Tabla 7. se detalla la secuencia de desmontaje de la puerta, los sistemas de unión de los que consta cada subconjunto de la puerta y el tiempo necesario para su desensamblaje. Para lograr extraer 1 kg de material polimérico sería necesario desmontar los subconjuntos: contactor elevallunas, empuñadura y panel. El programa ProdTect 1.3. estima un tiempo de desensamblaje aproximado de 3 minutos.

Tabla 7. Sistemas de unión y tiempo de desmontaje de los conjuntos por subconjunto

Nº	Subconjuntos	Sistemas de Unión	T desmontaje [s]
1	Unión puerta – Carrocería	Uniones Atornilladas	22,956
2	Contactor Elevallunas	Clipaje	57,564
3	Empuñadura	Unión Atornillada / Clipaje	44,582
4	Panel	Unión Atornillada / Clipaje	74,18
5	Mando Empuñadura Interior	Clipaje	8,784
6	Soporte de Mando de Empuñadura Interior	Unión Remachada	62,82
7	Sistema Altavoz	Unión Remachada / Unión Atornillada	120,953
8	Subconjunto Retrovisor	Clipaje / Unión atornillada / Inserción	70,847
9	Motor Elevallunas	Unión Atornillada / Adhesivo / Inserción	139,565
10	Láminas de Estanqueidad	Adhesivo	15,268
11	Subconjunto Cerradura Puerta	Unión Atornillada / Clipaje	22,86
12	Maneta de Puerta	Clipaje	4,464
13	Mecanismo de Guiado	Unión Atornillada	28,152

Nº	Subconjuntos	Sistemas de Unión	T desmontaje [s]
14	Mecanismo de Apertura Exterior	Unión Atornillada / Clipaje	36,484
15	Luna Móvil de Puerta	Unión Atornillada / Guiado / Clipaje / Inserción	67,349
16	Mecanismo Elevalunas	Unión Remachada / Clipaje	83,268
17	Absorbedor de Golpes	Clipaje	10,368
18	Junta Antisuciedad de Puerta	Clipaje	48,384
19	Cableado	Clipaje	4,356
20	Moldura de Protección Lateral	Clipaje	23,256
21	Estructura	-	-
TOTAL			15 min 44 sg

En cambio, en el caso de la puerta propuesta realizada con material compuesto, para poder llegar a cumplir los objetivos de la Directiva 2002/53 para el año 2015 habría que reciclar o reutilizar al menos un 62,61% más de materiales. Para lograrlo, sería necesario desmontar la estructura de material compuesto y parte de los polímeros (Tabla 4). Esto, según la secuencia de desmontaje actual, supone el desensamblado de todos los subconjuntos de la puerta. El tiempo de estas operaciones se estima en 15 minutos y 44 segundos (Tabla7).

Se debe tener en cuenta que estos tiempos a veces difieren con la realidad, pues no todas las operaciones posibles de desmontaje son contempladas por el programa y en ocasiones es necesario realizar aproximaciones por semejanza de operaciones. Además, no se tienen en cuenta posibles problemas que podría sufrir el operario durante el desmontaje: obstrucción de componentes o componentes dañados que dificulten las operaciones. De modo que el tiempo real de desensamblado sería superior al estimado.

Al no estar diseñado el módulo puerta para el fin de vida basado en el desensamblado, el tiempo de esta operación es elevado, repercutiendo al alza en su coste. Este hecho, unido a que el valor de mercado del material desmontado es muy bajo o nulo, hace que no sea económicamente viable su desmontaje. Para hacer viable económicamente la recuperación, debería diseñarse la puerta pensando en reducir el tiempo de desensamblado y en maximizar la cantidad de materiales aprovechables para la recuperación. Para lograrlo, sería conveniente aplicar las siguientes estrategias de diseño considerando el de fin de vida:

1. Considerar la compatibilidad/incompatibilidad entre materiales para facilitar el reciclado.
2. Integrar componentes para reducir los tiempos y costes de desmontaje y facilitar el desmontaje.
3. Diseñar nuevos sistemas de unión que minimicen el tiempo de desmontaje.
4. Rediseñar los componentes considerando el desmontaje para mantenimiento y fin de vida.
5. Rediseñar los componentes para facilitar la extracción de aquellos que son residuos peligrosos.

5. Conclusiones

La sustitución de la estructura metálica por una estructura de compuesto reforzado con fibra de carbono supondrá una notable reducción en el peso. Ésta significará una importante mejora para el medio ambiente: se reducirá la demanda energética del vehículo –sea cual sea la motorización utilizada- y se limitarán las emisiones de CO₂.

Sin embargo, como se ha podido constatar para el estudio realizado sobre el módulo puerta del vehículo, desde un punto de vista de fin de vida, un vehículo con un gran porcentaje de componentes de material compuesto debería aumentar su reciclabilidad para poder cumplir los objetivos de la Directiva 2002/53 para el año 2015. Para lograrlo existen dos alternativas: mejorar los sistemas de reciclado actuales para poder reciclar los plásticos y materiales compuestos sin desmontar componentes del vehículo o desmontar para reciclar los componentes individualmente.

Hoy en día, sólo se desmontan ciertos componentes para su reutilización en mercados de segunda mano -las piezas y componentes que habitualmente se extraen son los neumáticos, el bloque motor, la batería, la caja de cambios y otros componentes (Muñoz et al., 2009)-, pues el rendimiento económico que se obtiene limita la extracción de otros componentes con menor valor de mercado-. Para aumentar la rentabilidad económica se deberían diseñar los componentes de material compuesto para facilitar su desensamblado, considerando su fin de vida, de tal manera que se facilite el desmontaje y se reduzca así el tiempo de desensamblado y resulte rentable económicamente.

6. Referencias

- Comisión Europea (2000). "Directiva 1999/96/CE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre las medidas que deben adoptarse contra la emisión de gases y partículas contaminantes procedentes de motores diesel destinados a la propulsión de vehículos". *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 16 de febrero.
- Comisión Europea (2000). "Directive 2000/53/CE of European Parliament and of the Council of 18 of September 2000 on end-of-life vehicles". *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*.
- Espartero, S., Justel, D., Lauroba, N., Beitia, A., Muñoz, C., & Vidal, R. (2009). "¿Es España el país europeo mejor reciclador de vehículos?". *XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. Badajoz, 8-10 Julio.
- Garraín, D., Muñoz, C., Vidal, R., & Franco, V. (2009). "Life Cycle Thinking at the End-of-life of Vehicles". 19th Annual Meeting SETAC Europe. 31/May - 4/Jun, 2009. Göteborg, Sweden.
- ISO 22628 (2002). "Road vehicles — Recyclability and recoverability — Calculation method". *ISO 22628:2002*.
- Justel, D. (2009). "Metodología para la eco-innovación en el diseño para desensamblado de productos industriales". *Tesis doctoral de la Universitat Jaume I*. Castelló, España.
- Justel, D., Igartua, A., García, M., & Vidal, R. (2006). "Estudio de métodos de evaluación de la desmontabilidad de productos industriales.". *X Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. Valencia, 13-15 Septiembre.
- Muñoz, C., Justel, D., Vidal, R., Garraín, D., Franco, V., & Royo, M. (2009) "Análisis del proceso de final de vida de vehículos en los Centros Autorizados de Tratamiento de Vehículos Fuera de Uso". *3rd Manufacturing Engineering Society International Conference. MESIC 09*. Alcoy, 17-18-19 Junio.
- Muñoz, C., López, R., Justel, D., & Garraín, D (2008). "Análisis medioambiental de los retrovisores de vehículos. Evolución temporal y escenarios de fin de vida." *Congreso Nacional de Medioambiente, CONAMA9*. Madrid. 1-15 Diciembre.
- ProdTect 1.3 Automotion (2009). "software ProdTect 1.4 Automotion". *KERP Engineering*.

SIGRAUTO. <http://www.sigrauto.es>. 2010, fecha de consulta 18-03-2010.

Tharumarajah, A., & Koltun, A. (2007). "Is there an environmental advantage of using magnesium components for light-weighting cars?" *Journal of Cleaner Production*. 15. 1007-1013.

Torrano, I., Justel, D., Vidal, R., Lauroba, N., García, M., & Espartero, S. (2008). "Validación de métodos de estimación de tiempos de desmontaje en el sector del mueble". *XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. Zaragoza, 9-11 Julio.

Wall, E., Sullivan, R., & Carpenter, R.(2005). "FY 2004 Progress Report for Automotive Lightweighting Materials". *U.S. Department of Energy Office of Freedom Car and Vehicle Technologies*. April.

Zhang, Y. (2007). "Lightweight design of automotive front side rail based on robust optimization". *Thin-walled structures*, 45. 670-676.

Agradecimientos

Este estudio ha sido parte del proyecto singular "Reducción del impacto ambiental de automóviles mediante el aligeramiento estructural basado en composites de carbono de bajo coste, sin comprometer la seguridad y el confort (ref. PSE-370100-2007-1)", subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia español.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Daniel Justel Lozano
Dpto. de Mecánica y Producción Industrial de Mondragon Unibertsitatea
Loramendi kalea, 4; Apartado 23. 20500 Arrasate-Mondragón (Gipuzkoa) Spain
Phone: 943 79 47 00
Fax : 943 79 15 36
E-mail: djustel@eps.mondragon.edu
URL : <http://www.mondragon.edu/innodis>