Alternativas de los residuos plásticos de la automoción y su empleo como aditivos de los betunes asfálticos. Parte I

E. LÓPEZ-VIDRIERO (*); FRANCISCA CASTILLO (**)

RESUMEN Este artículo forma parte de una línea de investigación en la que se pretende conseguir dos objetivos; el primero, cooperar en la mejora del medio ambiente, disminuyendo la cantidad de residuos plásticos procedentes del sector de la automoción y el segundo, mejorar las características de los betunes asfálticos empleados en el campo de la impermeabilización en la Ingeniería Civil mediante la adición de los residuos plásticos procedentes del sector de la automoción.

OTHER SOLUTIONS FOR THE PLASTIC RESIDUE FROM THE AUTOMOBILE INDUSTRY AND USED AS ADITIVES IN THE ASPHALTIC BITUMENS

ABSTRACT *This article forms part of an investigation which aims to achieve two objectives. The first is to cooperate in the improvement of the environment by decreasing the amount of plastic residue from the automobile industry. The second is to improve the characteristics of asphaltic bitumens used in roofing and waterprofing in Civil Engineering, through the adition of plastic residue from the automobile industry.*

Palabras clave: Residuos; Plásticos; Automoción; Betunes; Modificación; Impermeabilización.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo actual nos encontramos con un grave problema que tenemos que resolver, a corto o medio plazo y es, qué hacer con los productos manufacturados cuyos componentes no son degradables. Nos referimos en concreto, a los polímeros empleados en el sector de la automoción.

Desde hace algunos años, la utilización de estos materiales ha ido creciendo como consecuencia de las ventajas que presentan frente a otros materiales tradicionales. Esta industria utiliza una serie de materiales poliméricos en parachoques, salpicaderos, pasamanos, etc., y estos materiales tradicionales. Esta industria utiliza una serie de materiales bien porque acaba la vida útil del vehículo o bien porque son sobrantes de producción, pasan a englobar la larga lista de materiales de deshecho. El hecho de no ser degradables está contribuyendo a su acumulación en los basureros, lo que supone una amenaza potencial para el medio ambiente.

Por otro lado, los ligantes bituminosos son productos que tradicionalmente se han venido empleando en el campo de la impermeabilización en la Ingeniería Civil, debido entre otras cosas a sus buenas propiedades adhesivas, mecánicas y su elevada inercia química. Pero debido a otras características, tales como su bajo punto de reblandecimiento y su elevada susceptibilidad térmica, es prácticamente imposible utilizarlos directamente, por lo que es preciso modificarlos. Una forma de mejorar sus características es adicionándoles a los betunes (material quebradizo en frío) polímeros (compuestos de alto peso molecular) los cuales le confieren elasticidad.

Con objeto de contribuir a la reducción de los productos de desecho poliméricos, procedentes del campo de la automoción, se ha considerado muy interesante la utilización de estos residuos de naturaleza polimérica como aditivos de los ligantes bituminosos y estudiar la posible influencia en las propiedades de los betunes modificados (másticos) sin aumentar el coste de los mismos.

Este trabajo pretende contribuir a la mejora de la calidad de los betunes asfálticos mediante la obtención de nuevos materiales por incorporación de residuos de materiales plásticos, empleados en la fabricación de algunos de los componentes de los automóviles.

2. EL CONSUMO DE PLÁSTICOS Y SUS RESIDUOS

En los últimos años, la utilización de materiales poliméricos se ha extendido a todos los sectores de la industria. Esta amplia utilización se debe a las enormes ventajas que presenta frente a los materiales tradicionales, cerámicos, madera, metales... Entre las ventajas cabe destacar, el menor coste de producción (las cantidades de energía y agua son menores), así como la menor necesidad de material para un mismo fin y la relación peso-resistencia más favorable.

Los plásticos se encuentran presentes en todas las actividades de nuestra vida, con múltiples aplicaciones. Los principales consumidores son Estados Unidos de América y Europa Occidental (Fig. 1). El consumo mundial de polímeros es de 101.400.000 toneladas, de las que EEUU y Europa Oc-

(*) Licenciado con Grado en Ciencias Químicas. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). Ministerio de Fomento.

(**) Doctora en Ciencias Químicas. Jefe de la División de Materiales Orgánicos. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). Ministerio de Fomento.

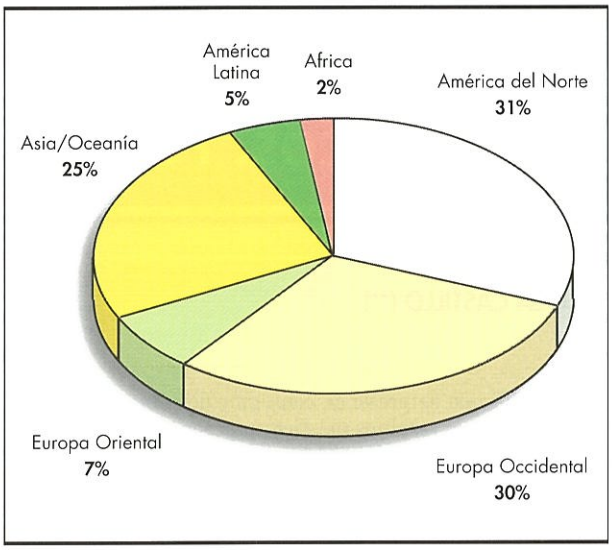

FIGURA 1. Consumo mundial de plásticos en 1993.

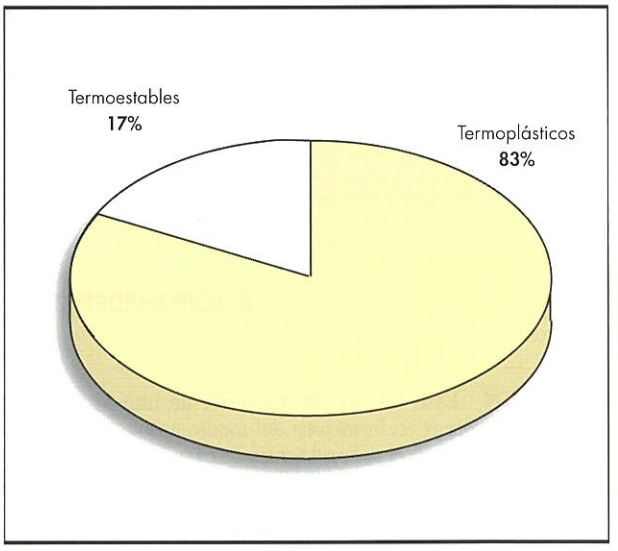

FIGURA 2. Clases de polímeros consumidos en Europa Occidental en 1993.

cidental representan, cada uno de ellos, el 30%. Dentro de Europa el principal consumidor es Alemania con el 28% del consumo total.

En el campo de los materiales poliméricos son los termoestables y los termoplásticos los que presentan un consumo muy apreciable siendo el de los primeros el 17% y el de los segundos el 83% (Fig. 2).

Dentro de los termoplásticos el más consumido es el polietileno de baja densidad (PEBD) seguido del policloruro de vinilo (PVC), mientras que en los termoestables los más solicitados son los poliuretanos y los amínicos.

En el sector de la construcción y del embalaje los polímeros más utilizados son el polietileno de alta densidad (PEAD) (32%) y el PVC (40%).

La utilización de los materiales poliméricos está en continuo crecimiento en cada uno de los sectores presentes en nuestra vida y son de destacar: agricultura, construcción, doméstico, electricidad, electrónica, mobiliario, medicina y en la automoción.

En general, toda actividad humana necesita una serie de materiales pero como es razonable también genera una serie de residuos. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), "residuo es toda materia generada en las actividades de producción y consumo, y que al no alcanzar ningún valor económico se destina al abandono". Por su parte, la ley española de 1975 sobre desechos y residuos sólidos urbanos lo define como "todo material o elemento que tras su producción, manipulación o uso, no posee valor de mercancía".

En las últimas décadas el desarrollo tecnológico ha sido enorme, y por tanto, los residuos generados por los distintos sectores de la actividad humana son un problema, tanto por su volumen como por su diversidad. En 1993 en Europa Occidental se produjeron 2.800 millones de toneladas de residuos, de las cuales 16 millones eran residuos plásticos. Sin embargo, podemos leer estas cifras sin hacernos una idea clara de su magnitud real, siendo muy fácil caer en el error de pensar que esta cantidad no es representativa, ya que tan sólo es el 0,6% del peso total de los residuos, pero que ocupan el 20% del volumen de los vertederos. En 1993, la cantidad de residuos plásticos en los países europeos se encuentra repartido en los siguientes sectores: municipal (67,4%), agricultura (3,9%), automoción (5,2%), construcción (4,6%), electrónica (3,2%) y otros (15,6%), siendo el sector de los residuos sólidos urbanos el mayor (Fig. 3).

Igualmente, esta cantidad de residuos es mayor en los países europeos más industrializados siendo del 19% en Alemania, del 18% en Francia y del 15% en Italia, y en todos ellos el porcentaje más alto corresponde a los residuos sólidos urbanos.

En España se generan 15 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos, de ellos el 4% fueron materiales textiles, el 4% de metales, el 7% de vidrio, el 11% de plásticos, el 21% papel y el 44% de materiales orgánicos.

Puesto que los países más industrializados son los que generan más residuos, uno de los parámetros que se utiliza en la actualidad para medir el grado de desarrollo de un país es la producción de residuos sólidos urbanos por habitante.

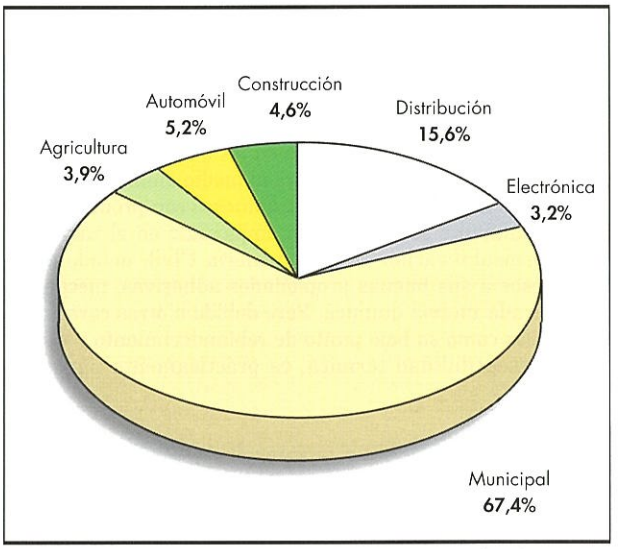

FIGURA 3. Residuos plásticos por sectores en Europa Occidental en 1993.

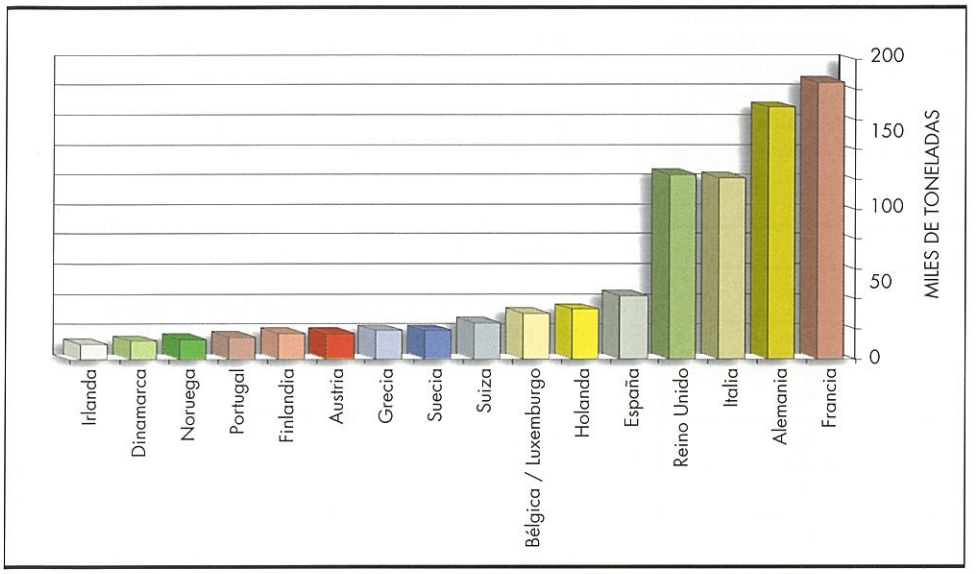

FIGURA 4. Residuos plásticos generados por el sector del automóvil en Europa Occidental en 1993.

Concretamente en Europa se genera por habitante y año, alrededor de la mitad de los desechos domésticos que en Estados Unidos de América, y los habitante de países en vías de desarrollo producen entre la tercera y la cuarta parte de la media estadounidense. En España se producen casi 30 kg de residuos de envases y embalajes plásticos por habitante y año.

En la figura 4 se indica la cantidad de residuos plásticos procedentes del sector de la automoción en los países de Europa Occidental en 1993. Como puede verse una vez más los países más industrializados son los que generan más residuos en este sector (1).

3. LOS PLÁSTICOS EN LA AUTOMOCIÓN Y SUS RESIDUOS

La industria del automóvil es una de las pioneras a la hora de utilizar nuevos materiales y el empleo de los polímeros no podía ser una excepción.

De los datos obtenidos del consumo de plásticos por sectores en Europa Occidental en 1993, le corresponde el 7% al sector de la automoción y el restante procede de la agricultura, embalaje, eléctrico, construcción y otros (Fig. 5).

Así mismo la cantidad de residuos plásticos por sectores en Europa Occidental en 1993 indica que al sector de la automoción le corresponde un 5,2% (Fig. 3). El país europeo que genera más residuos plásticos en este sector es Francia con el 22%, seguida de Alemania con el 20% y el Reino Unido e Italia con el 16% cada uno (Fig. 4) (1).

Actualmente la tendencia es conseguir una mayor potencia del motor con el mismo o menor consumo por lo que hay que pasar por una reducción del peso del vehículo para optimizar los rendimientos. Para ello se han sustituido algunos materiales tradicionales o se han combinado alguno de éstos con los polímeros. Así, en 1980 el consumo de plásticos por vehículo era de 61 kg y en la década de los noventa, esta cantidad asciende a los 107 kg por vehículo, es decir, que aproximadamente el 10% del peso de los vehículos es material plástico o polimérico. Concretamente la casa BMW puntualiza que la proporción de polipropileno en sus automóviles de la serie 3 se ha visto incrementada, de 3 kg en 1975 a 30 kg en la actualidad (2).

Hoy en día hay una tendencia global hacia las aplicaciones exteriores en plástico.Este fenómeno puede comprobarse

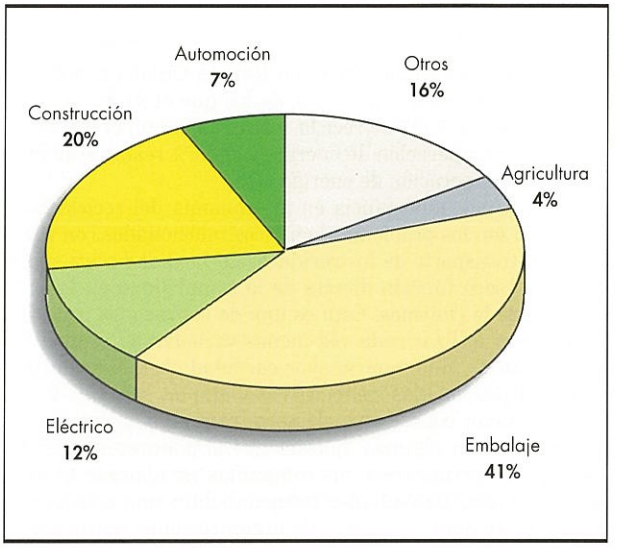

FIGURA 5. Consumo de plásticos por sectores en Europa Occidental en 1993.

comparativamente en vehículos de alta producción, tales como los modelos de 1993 "Camaro" y "Firebird", de General Motors; en nuevas y eficaces tecnologías para la combinación por moldeo de puertas de plástico y metal; en el crecimiento rápido de parachoques a base de polipropileno modificado. La sustitución del metal por un material plástico está, así mismo, ganando posiciones en zonas menos visibles del automóvil tales como, colectores de admisión y depósitos de combustibles.

En cada vehículo se encuentra un gran número de piezas plásticas o poliméricas, que contienen algún material polimérico: parachoques, salpicaderos, depósitos de carburante, consolas, paneles, tapacubos, rejillas, apoyabrazos, carcasas, bolsillos..., que dan lugar a un peso de 107 kg por automóvil.

Las nuevas técnicas de diseño de los automóviles están dirigidas a la creación de módulos, de forma que el fabri-

cante del automóvil se limite a su ensamblado. Esto representa una enorme oportunidad para los materiales plásticos, mediante la integración de componentes y reducción de costos, y permite un fácil desguace del vehículo y aprovechamiento de los polímeros contenidos en él. Los plásticos más empleados en el sector de la automoción aparecen en la tabla 1 (3).

POLÍMERO	%
Polipropileno	28
Poliuretano	25
PVC	15,5
ABS	12,5
Nylon	10
HDPE	10

TABLA 1. Polímeros más empleados en los automóviles.

En 1992 este sector generó en Europa Occidenta 842.000 toneladas de residuos plásticos, de las que el 91,8% se lleva a vertederos, el 4,6% se recicla mecánicamente, el 3% se incinera sin recuperación de energía y el 0,6% restante se incinera con recuperación de energía (1).

De especial importancia en la economía del reciclado de plásticos, son los problemas logísticos relacionados con la recogida y transporte de los residuos. La facilidad para su separación será función directa de la complejidad en la composición de los mismos. Esta es una de las razones para que se tienda a utilizar cada vez menos variedad de componentes plásticos, aunque en mayor cantidad. Así, el polipropileno, con precios más competitivos y amplia gama de suministro (homo, copo y terpolímero, compuestos, etc.) está desplazando en algunas aplicaciones al poliuretano, ABS o PVC. Salvo excepciones, las compañías no abordan el reciclado de forma individual e independiente, sino a través de proyectos comunes y dentro de organizaciones nacionales e internacionales.

En algunos caso, como en los que se describen a continuación, ciertos plásticos han sido reemplazados por otros, por su mayor facilidad para ser reciclados.

Tradicionalmente la industria japonesa de automóviles ha sido un significativo usuario del polipropileno, y los europeos se han unido a ellos. Así, los fabricante europeos de automóviles han utilizado el polipropileno en una proporción superior al doble que los fabricantes norteamericanos en aplicaciones interiores, parachoques y paneles protectores. En la actualidad el reciclado es una consideración importante del diseño, incluso obligada por la Unión Europea, el uso del PP crecerá rápidamente una vez que los fabricantes de coches se decidan a usar una o muy pocas resinas estándar para la obtención del mayor número posible de piezas con el objetivo de facilitar el posterior reciclado.

En el sector del automóvil, dentro de los países europeos, es Alemania, la que marca las diferencias a la hora de tratar el tema del reciclado. En su directiva se contempla, desde 1996, que los nuevos modelos de automóviles tienen que emplear en su fabricación un 20% de plásticos reciclados. Para el año 2000 este porcentajes tendrá que ser el 50%. Además establece una serie de normas básicas tales como:

- Los fabricantes y vendedores, o sus representantes, están obligados a hacerse cargo de los vehículos al final de su vida útil, a costo cero.
- Los materiales procedentes de vehículos usados han de reciclarse tan rápidamente como sea posible.
- La industria y los comerciantes han de adquirir los medios necesarios para desmantelar los vehículos viejos y dar salida a los residuos no reutilizables.
- Los nuevos productos han de diseñarse con vistas a su reciclado.

Actualmente, en la fabricación de los coches hay numerosas piezas obtenidas a partir de plásticos reciclados.

El PP reciclado está comenzando a aparecer en piezas visibles exteriores como parachoques y paneles protectores. Los parachoques que contienen porcentajes variables de PP-EPDM reciclado, son piezas estándar en muchos de los modelos "Polo Volkswagen". En asociación con la empresa proveedora de PP, "DSM Kunststoffen", "Volkswagen (VW)" está recuperando parachoques usados para su desmontaje en su planta de Lehr, Alemania. El material de desecho es a continuación, regranulado por la compañía de reciclado "Reko" (Beek, Holanda), y la fabricación de compuestos la realiza la compañía "DSM Speciality Compounds" (Genk, Bélgica), ambas filiales de "DSM" (2).

Prácticamente la mayoría de los principales fabricantes europeos de automóviles está llevando a cabo el reciclado de parachoques usados. BMW, recupera parachoques de PP/EPDM en su proyecto piloto de Landshut, Alemania, para su aplicación en revestimientos y soportes plateados en sus nuevos automóviles de la serie 3. Bayer ha desarrollado un proceso a alta presión temperatura para recuperar salpicaderos de automóviles construidos de poliuretano (4).

Hasta el momento se han visto aplicaciones de reciclado de plásticos de automoción para el propio vehículo, pero también existen algunas alternativas para su uso fuera del mismo.

4. SOLUCIONES A LOS RESIDUOS PLÁSTICOS DE LA AUTOMOCIÓN

Una de las causas del crecimiento de las aplicaciones de los materiales poliméricos es el hecho de que éstos son resistentes a la degradación causada por el medio ambiente y esto es precisamente lo que está contribuyendo a su acumulación en vertederos.

Los factores que han contribuido a esta situación son: el rápido crecimiento demográfico, la concentración de población en centros urbanos, la utilización de bienes materiales de rápido envejecimiento y el uso, cada vez más generalizado, de envases sin retorno fabricados con materiales poco o nada degradables.

El volumen de desperdicios está llegando a tales niveles que su recogida y eliminación constituye uno de los principales problemas al que se enfrenta la sociedad.

Los procedimientos más comunes para la eliminación de los residuos son:

1) Vertido.
2) Reciclado.
3) Incineración.

El **vertido** es la práctica más común en la mayoría de los países. El proceso consiste en disponer los residuos en capas compactas que posteriormente se cubren con otras de otros materiales extraídos "in situ" de la misma zona o transportados de otro lugar.

Actualmente, se está confinando el 76% de los residuos plásticos en vertederos, entre otros motivos por la dificultad que conlleva la separación de los distintos residuos. Tradicionalmente el material se clasificaba manualmente, pero el coste económico de este proceso lo encarece en exceso, por lo que la tendencia es la separación de los distintos residuos en el origen del mismo (5).

El **reciclado** es un proceso de separación de las diversas fracciones que pueden ser rentabilizadas en el ciclo de producción o de consumo y de este modo adquieren un valor de venta. Este procedimiento es el más completo desde el punto de vista teórico, pero su inconveniente es la gran inestabilidad de los mercados para los productos reciclados.

Dentro del procedimiento de reciclado se distinguen dos métodos: el mecánico y el químico. Algunos trabajos se encuentran en la bibliografía sobre el procedimiento *mecánico* en el que los residuos plásticos se recogen, clasifican, trituran, lavan y excluyen para obtener la granza. Seguidamente, se procede a su transformación por acción del calor y/o presión; y el resultado son nuevos objetos de plástico (bolsas de plástico reciclado, tuberías de drenaje, etc.) (6).

Con el método *químico*, a partir de los polímeros se obtienen productos que pueden emplearse en la producción de otras sustancias químicas más sencillas que pueden ser utilizadas nuevamente como materias primas en plantas petroquímicas. Este método es dentro del reciclado de residuos plásticos el que va ganando terreno día a día. El éxito del tratamiento depende, en gran manera de la disponibilidad de un sistema de recogida y limpieza.

Otro procedimiento empleado es el de la **incineración** que es la quema controlada de los residuos con o sin recuperación de energía.

Las potencias caloríficas de algunos plásticos son muy parecidas a la de algunos combustibles empleados en las centrales térmicas (tabla 2).

Las tecnologías de incineración han ido evolucionando de tal forma que en la actualidad hay equipos que garantizan una correcta incineración de los residuos con tratamiento de los gases producidos. En Europa se lleva a cabo la incineración del 19% de los residuos plásticos, de este porcentaje el 80% se realiza con recuperación de energía.

Aunque los residuos plásticos procedentes del sector de la automoción no son muy altos comparados con los residuos sólidos urbanos, este sector ha empleado diferentes procedimientos para reducir la cantidad de residuos plásticos. Así en 1992 se encuentra que el procedimiento más empleado en Europa es el del vertido (773.000 toneladas), siguiéndole el del reciclado mecánico (39.000 toneladas), recuperando energía (26.000 toneladas) y el menos empleado es el de la incineración (4.000 toneladas).

MATERIAL	POTENCIA CALORÍFICA MJ / kg
Polipropileno (PP)	44
Polietileno (PE)	43
Poliestireno (PS)	40
Poliamida (PA)	37
Polietilentereftalato (PET)	33
Polimetacrilato metilo (PMMA)	25
Policloruro de vinilo (PVC)	20
Gas natural	52
Carbón	29
Crudo de petróleo	42

TABLA 2. Potencia calorífica de plásticos y combustibles.

En esta línea de actuación se ha pensado que otra alternativa para los residuos plásticos y en concreto los procedentes del sector de la automoción sería emplearlos como aditivos para mejorar las características de los betunes asfálticos, los cuales presentan muy buenas propiedades aglomerantes pero poseen una elevada susceptibilidad térmica que los hace frágiles y quebradizos a bajas temperaturas y fluyen con facilidad a temperaturas moderadamente altas. Como consecuencia de esto no poseen por sí solos las propiedades idóneas para su aplicación directa.

De esta forma se conseguirían dos objetivos, uno disminuir la cantidad de productos poliméricos de reciclado y otro rentabilizar la obtención de nuevos materiales (másticos).

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación MAPFRE la financiación de la ayuda a la investigación del trabajo "Empleo de plásticos reciclados de la automoción como aditivos en betunes asfálticos", en cuyo marco se ha realizado este trabajo. Gracias a dicha financiación D. Emilio López-Vidriero Mata ha llevado a cabo dicho estudio en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiles, en calidad de becario.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. APME. "Plastics consumption and recovery in western Europe" (1993).

2. KREISHER, K. R. "La capacidad de reciclado, factor clave en el crecimiento del uso del PP en los automóviles europeos". Revista de Plásticos Modernos. Nº 429 (1992).

3. Modern Plastics. "Enciclopedia 95". Modern Plastics (1995).

4. MAPLESTON, P. Modern Plastics 68 (2) 20. (1991).