

EMILIO LÓPEZ-VIDRIERO MATA  
*Ldo. en Ciencias Químicas.*  
*Centro de Estudios y Experimentación de*  
*Obras Públicas (CEDEX).*

# Empleo de plásticos reciclados de la automoción como aditivos en betunes asfálticos(\*)

## SUMARIO

*En la actualidad, la industria utiliza cada vez más materiales plásticos, que al no ser degradables pasan a engrosar la larga lista de residuos, cuya acumulación en basureros supone una grave amenaza para el medio ambiente.*

*Con objeto de contribuir a la reducción de estos desechos se considera de gran interés la utilización de estos residuos como aditivos de los productos bituminosos y su posible influencia en las propiedades de los betunes modificados, todo ello sin aumentar el coste de los mismos.*

**Palabras clave:** Reciclado de plásticos, betunes, aditivos.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo actual nos encontramos con un grave problema, el cual debemos 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

(\*) Este artículo es el resumen del trabajo presentado a la Fundación MAPFRE como resultado final de la investigación desarrollada durante el año 1997 a raíz de una beca concedida en su Convocatoria 1996/1997.

materiales tradicionales. Esta industria utiliza una serie de materiales plásticos (parachoques, salpicaderos, pasamanos...), estos 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 desecho. El no ser degradables está contribuyendo a su acumulación en 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 a 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 añadir a los betunes (material quebradizo en frío) polímeros (compuestos de alto peso molecular) que 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 la incorporación de residuos de materiales termoplásticos empleados en la fabricación de algunos de los componentes de los coches.

## LOS RESIDUOS PLÁSTICOS

En las últimas décadas, el desarrollo tecnológico ha sido enorme, unido al alto crecimiento demográfico, y han hecho que actualmente los residuos generados por los distintos sectores de la actividad humana sean un problema, debido tanto a su volumen como a su diversidad. En 1993, en Europa Occidental se produjeron  $2,8 \times 10^9$  toneladas de residuos, de las cuales,  $1,6 \times 10^7$  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 por ciento del peso total de los residuos, pero, sin embargo, ocupan el 20 por ciento del volumen de los vertederos (1).

Evidentemente, esta cantidad de residuos plásticos se encuentra repartida entre los distintos sectores de la actividad humana (agricultura, automoción, construcción...), como se observa en la Figura 1.

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

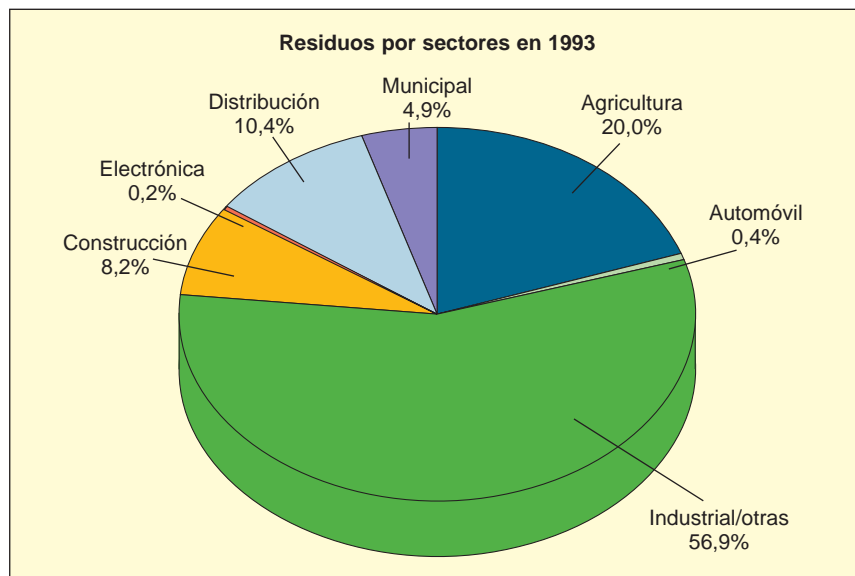
La industria del automóvil es una de las pioneras a la hora de utilizar nuevos materiales, y en el empleo de los polímeros no podía ser una excepción. En este sector se consume el 7 por ciento de los plásticos; pero en contrapartida la automoción tan sólo genera el 5,2 por ciento de los residuos plásticos. El país europeo que genera más residuos plásticos en el sector de la automoción es Francia, con el 22 por ciento; seguida de Alemania, con el 20 por ciento, y el Reino Unido e Italia, con el 16 por ciento cada uno (1).

Actualmente, la tendencia es conseguir una mayor potencia del motor con el mismo o menor consumo, por lo que hay que conseguir una reducción del peso del vehículo para optimizar los rendimientos. Para ello se han sustituido algunos materiales tradicionales o se han combinado algunos 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 ya estamos en los 107 kg por vehículo, es decir, que, aproximadamente, el 10 por ciento del peso de los vehículos es material plástico o polimérico. Concretamente, 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).

Los plásticos más empleados en este sector aparecen en la Tabla 1 (3).

De las 842.000 toneladas de plásticos generados por la automoción, el 91,8 por ciento se lleva a vertederos; el 4,6 por ciento se recicla mecánicamente; el 3 por ciento se incinera sin recuperación de energía, y el 0,6 por

**FIGURA 1. Residuos por sectores en Europa Occidental en 1993.**





Los plásticos ocupan el 20 por ciento del volumen de los vertederos.

**TABLA 1. Polímeros empleados en los vehículos.**

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

ciento restante se incinera con recuperación de energía (1).

En el sector del automóvil es Alemania, dentro de los países europeos y la normativa legal, la que marca las diferencias a la hora de tratar el tema del reciclado. En su directiva se contempla que, desde 1996, los nuevos modelos de automóviles tienen que emplear en su fabricación un 20 por ciento de plásticos reciclados. Para el año 2000, este porcentaje tendrá que ser el 50 por ciento. 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.

*La industria del automóvil es una de las pioneras a la hora de utilizar nuevos materiales, y en el empleo de los polímeros no podía ser una excepción. Este sector consume el 7 por 100 de los plásticos y tan sólo genera el 5,2 por 100 de los residuos plásticos.*

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 en Beek (Holanda), y la fabricación de compuestos la realiza la DSM Specialty Compounds en 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 y temperatura para recuperar salpicaderos de automóviles contruidos 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.

El grupo tecnológico especializado en infraestructuras ELSAMEX (Elpidio Sanchez Marcos Exterior), a través de su centro de investigación CIESM (Centro de Investigación Elpidio Sanchez Marcos), finalizó, en 1996, el proyecto de investigación que permitió emplear los neumáticos usados para la fabricación de mezclas asfálticas. El proceso investigador se completó con la ejecución de varios tramos por parte de la Comunidad Autónoma de Madrid (5).

H. Hall ha patentado un proceso para reciclar neumáticos usados (6).

## PARTE EXPERIMENTAL

### Caracterización de los productos de partida

#### Betunes

Los betunes asfálticos de penetración se clasifican de acuerdo con su penetración como característica fundamental.

La designación de los mismos se lleva a cabo indicando su penetración y haciendo referencia al número de la norma UNE 104-201 «Materiales bituminosos y bituminosos modificados, betunes asfálticos de penetración».

Los betunes escogidos son 150/200 UNE 104-201. En esta denominación, las dos cifras indican los límites entre los que está comprendido el valor de la penetración a 25 °C. Los dos betunes son: uno, de base parafínica, y otro, de base asfáltica.

La caracterización de los betunes se llevó a cabo con los ensayos tradicionales: densidad relativa (D), punto de reblandecimiento anillo bola (PR), penetración (P), índice de penetración (IP), pérdida por calentamiento (PC) y fluencia (F). Estas determinaciones se realizaron según se indica en las normas que se recogen en la Tabla 2.

**TABLA 2. Normas para la caracterización de los betunes.**

Característica	Norma
Densidad relativa	UNE 104-281/1-2
Punto de reblandecimiento	UNE 104-281/1-3
Penetración	UNE 104-281/1-4
Índice de penetración	UNE 104-281/1-5
Pérdida por calentamiento	UNE 104-281/1-11
Fluencia	UNE 104-281/4-3



*La industria del automóvil es una de las pioneras a la hora de utilizar nuevos materiales.*

#### Polímeros

La caracterización de los polímeros fue realizada por el proveedor.

Los polímeros de reciclado empleados fueron:

- Polietileno de baja densidad.
- Polietileno.

- Copolímero de polipropileno reciclado, con una pequeña parte de polietileno.

- Copolímero de polipropileno reciclado, con una pequeña parte de polietileno y con una de talco del 40 por 100.

#### Mezclas

La preparación de las mezclas betún-polímero (mástico) se llevó a cabo introduciendo el betún de partida en un recipiente metálico, y éste, en un baño de aceite a una temperatura constante del 170 °C. A continuación se añadió el polímero lentamente y con agitación, empleando un agitador mecánico Heidolp RZR 2101; una vez incorporado todo el polímero, se mantuvo la agitación constante a 400 rpm hasta la mezcla completa o durante dos horas y media.

Con objeto de observar la dispersión de los polímeros con el betún se empleó la técnica de microscopía óptica de fluorescencia por reflexión (20). Se utilizó un microscopio Olympus, modelo BHSM. El sistema de iluminación incorpora una lámpara de mercurio de alta presión (HBO) de 100 vatios.

La homogeneización de la mezcla se establece observando muestras en el microscopio de fluorescencia.

Una vez alcanzada la homogeneización de la mezcla, o pasadas dos horas y media, se tomaron muestras para caracterizar las mezclas.

En un principio, cada una de las mezclas se caracterizaron empleando solamente los ensayos de punto de reblandecimiento anillo bola y de penetración, para, posteriormente, caracterizar la mezcla óptima con el resto de los ensayos tradicionales, indicados anteriormente.

## RESULTADOS

### Caracterización de los betunes de partida

Como se dijo en el apartado anterior los betunes escogidos fueron: uno, de base asfáltica, y otro parafínica, ambos fueron sometidos a los llamados ensayos tradicionales de caracterización de betunes, y los resultados se recogen en la Tabla 3.

Los puntos de reblandecimiento para el betún aromático y parafínico son, respectivamente, 39 y 42 °C. Para estos valores, los betunes fluirán a las temperaturas normales de servicio. No existe una diferencia importante entre los betunes de partida.

### Mezclas

La primera mezcla ensayada fue la del 10 por ciento de adición en polímero, para esta cantidad en todas las mezclas se consiguen mejorar las propiedades del betún de partida. Pero realmente se logra una buena mezcla con el polietileno de baja y de alta densidad. Debido a la falta de mezcla y al bajo incremento del punto de reblandecimiento y de la penetración se descartaron todos los copolímeros y sólo se emplearon los dos tipos de polietileno para las siguientes mezclas. Se aumentó el porcentaje de polímero al 20 por ciento, pero éste resultó excesivo y tuvo que rebajarse hasta el 15 por ciento.

Después de realizar las mezclas no se observan grandes diferencias entre las realizadas con betún parafínico y las efectuadas con el aromático.

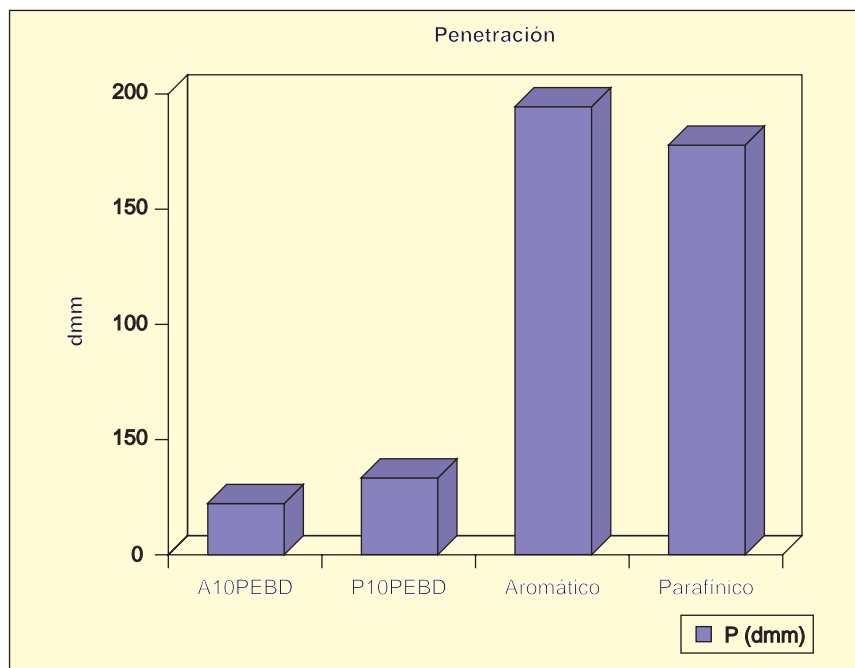
**TABLA 3. Caracterización de los betunes.**

Betún 150/200	P (dmm)	PR (°C)	D (g/cm³)	IP	PC (%)	F
Aromático	190	39	1,027	-0,69	0,014	Total
Parafínico	170	42	1,018	0,09	0,014	Total

**TABLA 4. Caracterización de las mezclas A10PEBD y P10PEBD.**

Mezclas	P (dmm)	PR (°C)	D (g/cm³)	IP	PC (%)	F (mm)
A10PEBD	33	112	1,010	6,7	0,011	0
P10PEBD	30	115	1,012	6,7	0,012	0,5

**FIGURA 2. Penetración de los betunes de partida y de las mezclas A10PEBD y P10PEBD.**



La norma UNE 104-232 de betunes modificados define las características mínimas que deben cumplir, siendo los límites inferiores para la penetración de 25 dmm, y de 60, para el máximo. Para el punto de reblandecimiento anillo bola tan sólo se indica el límite inferior, que es de 110.

A la vista de lo que se indica en dicha norma, los mejores resultados se consiguen con el porcentaje de adición del 10 por ciento (el intervalo de adición fue del 10 al 20 por ciento en polímero reciclado), siendo el polímero más adecuado el polietileno de baja densidad.

La variación experimentada por los betunes de partida al modificarlos con un 10 por ciento de polietileno de baja densidad (PEBD) se recogen en la Tabla 4, donde A10PEBD es, a su vez, la mezcla del betún parafínico,

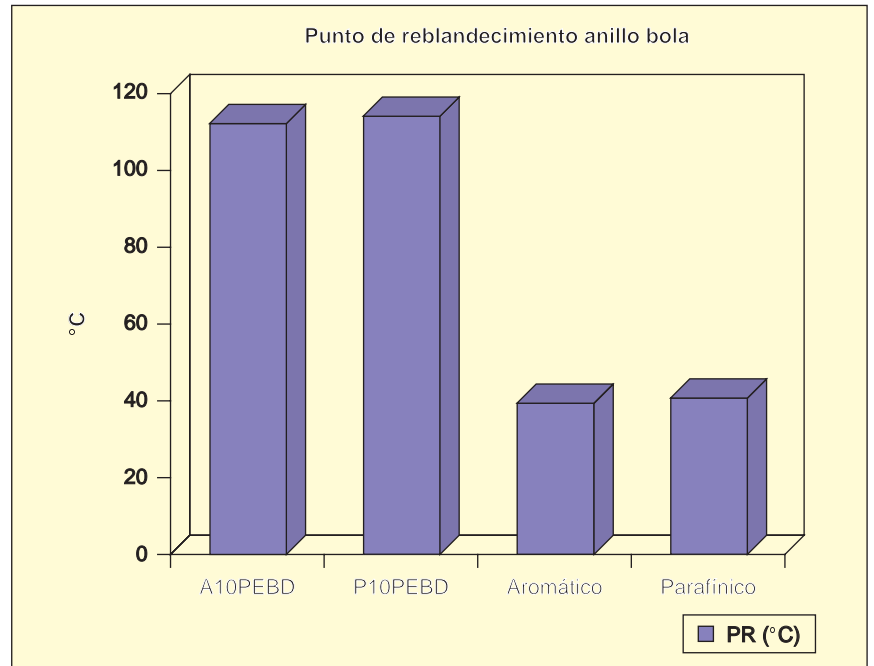
con un 10 por ciento de polietileno de baja densidad.

En la Tabla 4 se pueden ver las grandes variaciones que provoca la adición de un 10 por ciento de polietileno de baja densidad (PEBD). Los betunes de partida tienen una penetración de 170 dmm para el parafínico y de 190 dmm para el aromático. Por otro lado, las mezclas con el polímero reducen estos valores un 82 por ciento. Estas variaciones se observan en la Figura 2, donde se compara la penetración de los betunes de partida y de las mezclas A10PEBD y P10PEBD.

La Figura 3 muestra los incrementos del punto de reblandecimiento anillo bola al adicionar un 10 por ciento de polietileno de baja densidad. Los valores para los betunes de partida son 39 °C para el aromático, y 42 °C, para el parafínico. Al realizar la mezcla, los va-

Con objeto de mejorar las características de estos betunes se han adicionado diferentes tipos de polímeros reciclados de la automoción. En general, en todas las mezclas obtenidas se han logrado modificar las características iniciales de los betunes de partida.

**FIGURA 3. Punto de reblandecimiento anillo bola de los betunes de partida y de las mezclas A10PEBD y P10PEBD.**



lores se incrementan hasta 112 °C para el primero de los betunes, y en el caso del segundo es de 115 °C, lo que supone un incremento de casi un 300 por ciento en el valor de esta propiedad.

**CONCLUSIONES**

Los betunes de partida tienen unas propiedades que los hacen inapropiados para su utilización como materiales de impermeabilización (punto de

reblandecimiento anillo bola, PR = 39, penetración = 90, el aromático, y PR = 42 y P = 170, el parafínico).

Con objeto de mejorar las características de estos betunes se han adicionado diferentes tipos de polímeros



Una directiva alemana contempla que, para el año 2000, el porcentaje de plásticos reciclados empleados en la fabricación de vehículos tendrá que ser del 50 por ciento.





En España, el CIESM (Centro de Investigación Elpidio Sánchez Marcos) finalizó, en 1996, un proyecto que permitió emplear neumáticos usados para la fabricación de mezclas asfálticas.

reciclados de la automoción. En general, en todas las mezclas obtenidas se ha logrado modificar las características iniciales de los betunes de partida.

En el caso de los tres copolímeros de polipropileno reciclado con una pequeña parte de polietileno, la mejora ha sido pequeña. La penetración se redujo un 50 por ciento pero el punto de reblandecimiento anillo bola sólo aumentó un 13 por ciento.

Al adicionar los polietilenos, tanto el de baja como el de alta densidad, a los betunes de partida, la variación de las propiedades ha sido grande. El punto de reblandecimiento anillo bola aumentó un 300 por ciento y la penetración se redujo un 96 por ciento en las mezclas P15PEAD y P15PEBD.

No obstante, aunque en un principio pudieran parecer óptimos estos incrementos en las propiedades de los be-

tunes, si se consideran los valores que da la norma UNE 104-232, «Materiales bituminosos y bituminosos modificados», esta mejora no lo es tanto, ya que se salen de los rangos que presenta esta norma para este tipo de materiales modificados.

Por todo ello, teniendo en cuenta los rangos que da la citada norma, se escogieron como muestras óptimas las realizadas con polietileno de baja densidad. La dosificación óptima de este polímero fue la del 10 por ciento, ya que se alcanzaron unos valores para el punto de reblandecimiento anillo bola de 112 °C, y de 33 dmm para la penetración, siendo los valores establecidos por la norma de mayores de 110 °C para el punto de reblandecimiento, y entre 25 y 60 dmm para la penetración.

*Se puede concluir diciendo que los polímeros reciclados de la automoción sirven para modificar los betunes y que el polietileno reciclado de baja densidad es el polímero de los ensayados que mejores propiedades confiere al mástico (betún modificado).*

En cuanto al betún a escoger, no se apreciaron diferencias notables entre el parafínico y el aromático. Sin embargo, hay que tener en cuenta que tan sólo se han medido parte de las propiedades de las mezclas por la brevedad del tiempo disponible, pero pudiera ocurrir que existiera diferencia entre los dos tipos de betunes.

Se puede concluir diciendo que los polímeros reciclados de la automoción sirven para modificar los betunes y que el polietileno reciclado de baja densidad es el polímero de los ensayados que mejores propiedades confiere al betún modificado.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) APME (1993): *Plastics consumption and recovery in western Europe*.
- (2) KREISHER, K. R. (1992): «La capacidad de reciclado, factor clave en el crecimiento del uso del PP en los automóviles europeos». *Revista de Plásticos Modernos*, núm. 429.
- (3) Modern Plastics (1995): Enciclopedia 95.
- (4) MAPLESTON, P. (1991): *Modern Plastics* 68 (2) 20.
- (5) (1996): «Informe de la Jornada Técnica». *Rutas*, núm. 56.
- (6) BALL, J. M. (1958): «Reclaimed Rubber», *Vanderbilt Rubber Handbook R. T. Vanderbilt Co.*, Nueva York.