

Estudio de materiales de polietilenos reciclados y vírgenes como materia prima para la fabricación de elementos de balizamiento de carreteras

CARLOS GARCÍA SÁNCHEZ-MOLINA (*), FRANCISCA CASTILLO RUBÍ (**),
MANUEL BLANCO FERNÁNDEZ (***) y ROSARIO SOLERA MARTÍNEZ (****)

RESUMEN Este artículo forma parte de una línea de investigación cuyo principal objetivo consiste en poder utilizar los residuos plásticos como materia prima para la fabricación de elementos de balizamiento de carreteras. En este estudio se han caracterizado una serie de muestras vírgenes y recicladas de polietileno de alta densidad (PEAD) suministradas por distintas empresas y gestoras. Dicha caracterización se ha llevado a cabo a través de la determinación de la densidad, de la temperatura de reblandecimiento Vicat y del índice de fluidez en masa.

RECYCLED AND PRIMARY POLYETHYLENE MATERIALS AS RAW MATERIAL FOR MANUFACTURE MARKING ROADS ELEMENTS

ABSTRACT *This article is part of a research whose main objective is to use the plastic waste as raw material for manufacturing products designed to marking roads. For this study various virgin and recycled high density polyethylene (HDPE) samples were characterized. These materials were supplied by different companies. The features that have been identified in all samples were density, Vicat softening temperature and melt mass flow rate.*

Palabras clave: Balizamiento, Temperatura de reblandecimiento Vicat, Índice de fluidez, Polietileno de alta densidad (PEAD), Plásticos reciclados.

Keywords: Road delineators, Vicat softening temperature, Melt mass flow rate, High density polyethylene (HDPE), Recycled plastics.

1. INTRODUCCIÓN

La conservación de las fuentes de materias primas, la protección del medio ambiente, las nuevas iniciativas legislativas y la gestión y reciclaje de los residuos, representan aspectos diversos de una de las principales inquietudes de la sociedad actual: la conservación del medio ambiente. El im-

pacto ambiental se ha convertido en un aspecto condicionante del desarrollo de nuevos productos industriales, así como del tratamiento final de sus residuos. Desde este punto de vista, los plásticos son, sin duda alguna, materiales ideales que conjugan una gran versatilidad productiva, adaptables a las exigencias del diseño, con soluciones tecnológicamente innovadoras y todo ello minimizando el impacto ambiental.

Los materiales poliméricos son utilizados en sectores muy diferentes, es posible encontrarlos en el sector de la construcción, envases, automovilístico, confección, mobiliario urbano y en el campo de la señalización, entre otros.

Los plásticos, según su definición, son materiales poliméricos que pueden moldearse dándole una forma y tamaño deseado. Algunos plásticos pueden calentarse hasta que fluyen cuando se someten a presión, pero si se continúa con este proceso de calentamiento pueden llegar a endurecer. Este tipo de plásticos se denominan termoplásticos. Otro tipo de plásticos, conocidos como termoplásticos, pueden ser re-

(*). Servicio de Materiales Orgánicos. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. CEDEX. Ido. Ciencias Químicas. Becario. E-mail: Carlos.Garcia@cedex.es

(**) Jefe de Servicio de Materiales Orgánicos. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. CEDEX. Dra. Ciencias Químicas. E-mail: Francisca.Castillo@cedex.es

(*) Jefe de Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. CEDEX. Dr. Ciencias Químicas. E-mail: Manuel.Blanco@cedex.es

(*) Jefe de Servicio. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. CEDEX. Lda. Ciencias Químicas. E-mail: Rosario.Solera@cedex.es

blandecidos sucesivamente por calentamiento y endurecidos por enfriamiento. Son materiales fácilmente reciclables, ya que funden al calentarse, pudiendo ser moldeados repetidas veces sin que sus características originales sufran grandes alteraciones. Sin embargo, durante los distintos ciclos de reprocesado van sufriendo modificaciones, por lo que no es aconsejable reciclarlos más de 5 ó 7 veces. Este último grupo de materiales es en el que se centra este estudio.

Cuando se recupera y recicla un material polimérico perteneciente a la familia de los termoplásticos, su destino habitual es sustituir, en parte o incluso en todo, a otro termoplástico de su misma naturaleza. Esto exige un elevado grado de pureza y para ello habría que evitar la mezcla entre plásticos de diferente naturaleza. Asimismo, se deben utilizar plásticos cuyas propiedades no se hayan visto muy degradadas o alteradas.

En definitiva, la industria de los materiales plásticos ha tenido un desarrollo espectacular, permitiendo su empleo en múltiples campos de aplicación, como puede ser el correspondiente a la señalización vial. Concretamente, en el caso del balizamiento de las carreteras se emplean materiales poliméricos como base en la fabricación de casi todos sus productos.

La gran variedad de materiales poliméricos y aditivos que existe permite poder formular materiales idóneos para cualquier aplicación. De esta manera es posible obtener un nuevo producto para la señalización, mejorando la seguridad pasiva de las personas, ya que los plásticos pueden soportar impactos y recuperar su forma inicial además de absorber energía tras el impacto, reduciendo notablemente los daños causados a los vehículos y a sus ocupantes en un eventual accidente.

Por todo lo dicho, sería lógico pensar que el **balizamiento de las carreteras** podría ser una de las alternativas para reducir la cantidad de residuos plásticos existentes en el Estado Español.

Este trabajo pretende ser una contribución al objetivo indicado anteriormente. Por este motivo, se consideró que lo primero que había que realizar era analizar algunas de las características más significativas de una serie de muestras de materiales poliméricos reciclados o residuos plásticos (materia prima secundaria), con objeto de ver la posible compatibilidad con los polímeros vírgenes (materia prima primaria) normalmente utilizados en el sector del equipamiento vial, y de esta forma poder asegurar la calidad de los posibles productos o elementos fabricados con residuos plásticos bien en su totalidad o en determinados porcentajes.

Los requisitos que han de cumplir los residuos plásticos para poder ser utilizados en la fabricación de elementos empleados en el equipamiento vial han de ser, como mínimo, iguales o semejantes a los de los polímeros vírgenes utilizados normalmente en la fabricación de dichos productos.

2. METODOLOGÍA

2.1. MATERIALES

Las muestras utilizadas en este trabajo se han extraído de materiales poliméricos vírgenes y reciclados de polietileno de alta densidad (PEAD).

En las Tablas 1 y 2 vienen reflejadas las referencias dadas por el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (LCEM) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) para cada una de las muestras, las referencias de las empresas suministradoras, y otros datos de interés, tales como color, origen y estado en que han llegado al Laboratorio (granza o polvo). Las trece empresas suministradoras se pueden dividir en función del tipo de fabricación: fabricantes de materia prima virgen, fabricantes de balizamiento y fabricantes de material reciclado.

2.1.1. Muestras vírgenes (materia prima primaria)

En la Tabla 1 se recogen todas las muestras vírgenes objeto de este estudio. Casi todas ellas proceden de fabricantes de productos de balizamiento, exceptuando las muestras -V3 y -V4 que han sido suministradas por una multinacional de materia prima primaria.

2.1.2. Muestras recicladas (materia prima secundaria)

Las muestras recicladas, en forma de granza de PEAD, se presentan en la Tabla 2. La diferencia principal entre reciclados del mismo residuo de origen y de la misma gestora es que proceden de distintos lotes de producción, es decir, han sido elaboradas a partir del mismo tipo de residuo pero en distintas partidas de fabricación. La caracterización de muestras de distintos lotes de producción va a permitir estudiar la trazabilidad o continuidad de las características de las muestras recicladas en el tiempo.

Todas las muestras provienen del reciclaje mecánico de residuos. Este tipo de reciclaje es la alternativa más desarrollada para recuperar los residuos plásticos.

MUESTRA* (Referencia LCEM)	EMPRESA	COLOR	ORIGEN	
PEAD -V1	A	Natural	Polvo	
PEAD -V2				
PEAD -V3	B		Granza	
PEAD -V4				
PEAD -V5	C			
PEAD -V6	D			
PEAD -V7	A			Polvo
PEAD -V8				
* V se refiere a muestras vírgenes				

TABLA 1. Muestras vírgenes de material polimérico. PEAD.

MUESTRA* (Referencia LCEM)	LOTE	EMPRESA	COLOR	ORIGEN
PEAD -R1	1	E	Verde	Botellas
PEAD -R2	2			
PEAD -R3	3			
PEAD -R4	4			
PEAD -R5	1	F	Negro	Botellas y merma petroquímica
PEAD -R6	2			
PEAD -R7	3			
PEAD -R8	1	G	Marrón	Filmes de invernadero
PEAD -R9	2			
PEAD -R10	3			
PEAD -R11	1		Verde	
PEAD -R12	2			
PEAD -R13	3			

* R se refiere a muestras recicladas

TABLA 2. Muestras recicladas de material polimérico. PEAD.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS MUESTRAS

En este trabajo se ha llevado a cabo la caracterización de las muestras mediante la determinación de las siguientes características:

- Densidad.
- Temperatura de reblandecimiento Vicat.
- Índice de fluidez en masa.

La determinación de la densidad en las muestras poliméricas permite deducir el grado de cristalinidad de las mismas. Puesto que se va a trabajar con muestras de polietileno, se puede hacer una clasificación del tipo de polietileno del que se compone el material en función de la densidad. Generalmente, un polietileno de alta densidad (PEAD) es aquel cuya densidad es mayor de 0,940 g/cm³.

La temperatura de reblandecimiento Vicat es la temperatura a la cual un determinado material sufre un reblandecimiento súbito que, generalmente, se suele relacionar con la pérdida de estabilidad dimensional. Esta temperatura es indicativa de la temperatura máxima de utilización del material. La metodología que se ha llevado a cabo para su determinación se encuentra descrita en la Norma UNE-EN ISO 306: 2004. Asimismo, se establecen los valores mínimos que deben cumplir los elementos de balizamiento en diferentes Normas nacionales. Por ejemplo, una baliza cilíndrica de PEAD, debe presentar un valor de temperatura Vicat mayor de 65°C, cuando se determina en las condiciones empleadas en este trabajo.

El índice de fluidez es un parámetro que depende de las propiedades físicas y de la estructura molecular del polímero. Es una medida indirecta de la masa molecular y de la procesabilidad del material. Materiales que presenten índices de fluidez bajos, serán ideales para procesados empleando la técnica de moldeo por extrusión, mientras que los de índices de fluidez altos, serán idóneos para procesados mediante moldeo por inyección.

Las características tecnológicas de las muestras se han determinado empleando diversas técnicas de laboratorio, siguiendo metodologías definidas en normas internacionales.

La densidad se ha determinado mediante el método de inmersión en etanol (T=23°C), en una balanza de alta precisión según la norma UNE-EN ISO 1183-1:2004. La temperatura Vicat se ha realizado con un equipo HDT 3 Vicat de CEAST mediante el método A50 definido en la norma UNE-EN ISO 306:2004 (aplicando una carga de 10 N, a una velocidad de calentamiento de 50°C/h), y el índice de fluidez en masa se ha determinado con un equipo MELT FLOW MATIC de CEAST a 190°C y con una carga de 2,16 kg siguiendo la norma UNE-EN ISO 1133:2004 (Descripción más detallada de la metodología en publicaciones anteriores).

3. RESULTADOS

En este apartado se recogen los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras.

3.1. MUESTRAS VÍRGENES (MATERIA PRIMA PRIMARIA)

Tal como se puede observar en la Tabla 3, la mayoría de las muestras presentan valores de densidad por debajo de 0,940 g/cm³, valor mínimo característico del polietileno de alta densidad. Esto indica que la mayoría de las muestras vírgenes caracterizadas no son realmente de PEAD, sino de polietileno de baja y media densidad.

En las tres últimas muestras, -V6, -V7 y -V8 no se pudo determinar la temperatura Vicat, ya que hubo problemas con la prensa con la que se preparaban las probetas para estos ensayos. Sin embargo, el hecho de que la muestra -V7 proceda de la misma empresa que la -V1, y que además presenten valores de densidad similares hace pensar que sus valores de temperatura Vicat también sean parecidos. Ese mismo razonamiento se aplica para las muestras -V2 y -V8.

MUESTRA	EMPRESA	DENSIDAD (g/cm ³)	T° Vicat (°C) (A50)	IF _(190; 2,16) (g/10 min)
PEAD -V1	A	0,934	119,3	3,75
PEAD -V2		0,894	72,0	6,06
PEAD -V3	B	0,933	116,8	4,06
PEAD -V4		0,943	126,5	4,15
PEAD -V5	C	0,941	123,6	0,25
PEAD -V6	D	0,913	–	0,57
PEAD -V7	A	0,933	–	3,82
PEAD -V8		0,892	–	5,65

TABLA 3. Resultados de las muestras vírgenes. PEAD.

En cuanto a los índices de fluidez, estas muestras presentan valores muy distintos entre sí. Este hecho da una idea de las técnicas que emplean las empresas en el procesado de productos de balizamiento. Como se ha dicho anteriormente, materiales con índices de fluidez bajos van a ser idóneos para la fabricación de productos por extrusión, mientras que los de índice de fluidez altos se emplean en moldeo por inyección.

3.2. MUESTRAS RECICLADAS (MATERIA PRIMA SECUNDARIA)

Los resultados obtenidos para las trece muestras de resina reciclada de PEAD, se presentan en la Tabla 4.

Las muestras recicladas presentan unos valores de densidad característicos del polietileno de alta densidad (mayores de 0,940 g/cm³). Los valores presentados en la Tabla 4 indican, tal como garantizaron las gestoras de estos materiales, una continuidad de la densidad en el

tiempo, a través de los diferentes lotes de producción suministrados.

En el análisis de estos resultados es importante tener en cuenta el origen de los residuos. Así las muestras –R1, –R2, –R3 y –R4, procedentes de residuos de botellas, presentan valores de densidad relativamente altos, mientras que las muestras –R8, –R9 y –R10, procedentes del reciclaje de filmes de invernadero, presentan valores más bajos. Parece lógico pensar que la materia prima empleada para filmes de invernadero es más flexible que la que se utiliza para botellas, por lo que sus reciclados también lo son.

Además, en lo que se refiere a la temperatura Vicat, en las muestras suministradas por las mismas gestoras, los valores obtenidos son del mismo orden, lo que demuestra la continuidad de las características de estos residuos en el tiempo. Al igual que en las muestras vírgenes, tampoco se ha podido medir la temperatura Vicat en algunas muestras recicladas.

MUESTRA	EMPRESA	DENSIDAD (g/cm ³)	T° Vicat (°C) (A50)	IF _(190; 2,16) (g/10 min)
PEAD -R1	E	0,946	123,5	0,28
PEAD -R2		0,942	124,2	0,28
PEAD -R3		0,944	–	0,38
PEAD -R4		0,946	–	0,38
PEAD -R5	F	0,956	124,8	0,30
PEAD -R6		0,950	–	0,27
PEAD -R7		0,952	–	0,28
PEAD -R8	G	0,930	87,2	0,36
PEAD -R9		0,937	85,8	0,40
PEAD -R10		0,936	–	0,42
PEAD -R11		0,933	85,4	0,49
PEAD -R12		0,937	87,4	0,60
PEAD -R13		0,940	–	0,54

TABLA 4. Resultados de las muestras recicladas. PEAD.

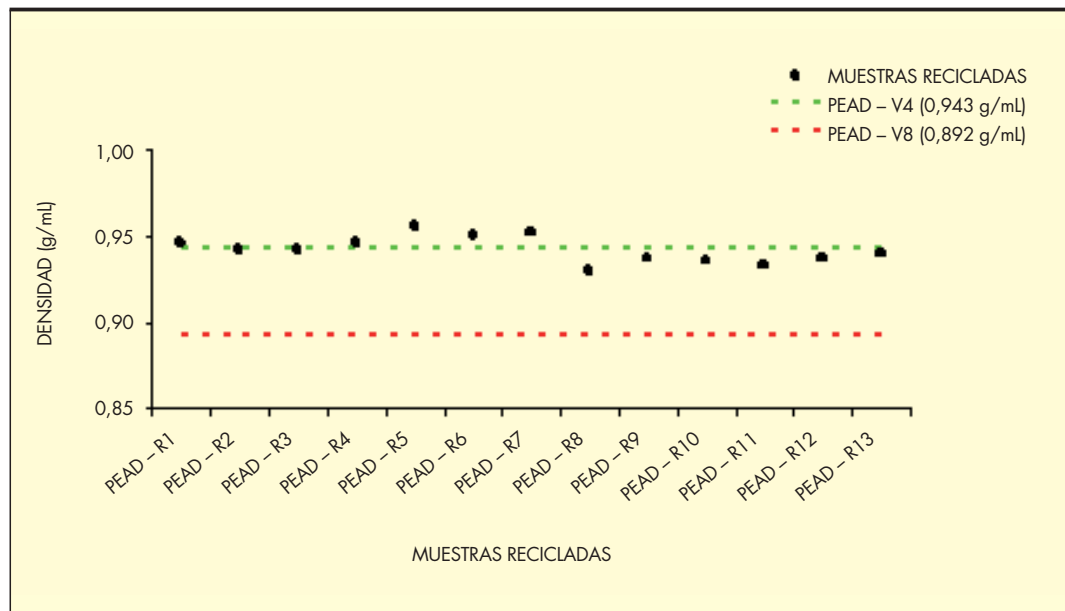


FIGURA 1.
Densidad.
Comparación de muestras recicladas y vírgenes. (23°C; etanol).

En cuanto a los valores de índice de fluidez tan bajos, se podría pensar que estos materiales reciclados serían apropiados para la fabricación de productos empleando el moldeo por extrusión.

3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se van a comparar los valores obtenidos de temperatura Vicat, densidad e índice de fluidez a fin de determinar si las muestras recicladas pueden utilizarse, parcial o totalmente, en la fabricación de elementos de balizamiento.

La comparación de cada característica se ha realizado representando los valores máximo y mínimo obtenidos para las muestras vírgenes junto con los valores de las recicladas (Figuras 1, 2 y 3). Es requisito fundamental de este estudio que las muestras recicladas presenten valores dentro del intervalo definido por las vírgenes, para que sean consideradas como aptas para la fabricación de productos de balizamiento.

Las muestras de PEAD reciclado presentan densidades comparables a las de las vírgenes (Figura 1), siendo algunas incluso más altas.

En cuanto a las muestras recicladas procedentes de residuos de botellas (de -R1 a -R7), a pesar de haber sido suministradas por distintas gestoras, presentan valores de temperatura Vicat comparables (Figura 2). Sin embargo, estos materiales presentan valores de temperatura Vicat mucho más altos que los reciclados de filmes de invernadero (de -R8 a -R13). El hecho de que se emplee materia prima polimérica más blanda y flexible en filmes de invernadero que en botellas parece evidente. A pesar de este hecho, todas las muestras recicladas presentan valores dentro del intervalo de valores definido por las vírgenes.

Es de suponer que las muestras recicladas en las que no se ha podido determinar la temperatura Vicat presenten también valores comparables a los de las vírgenes, ya que como se

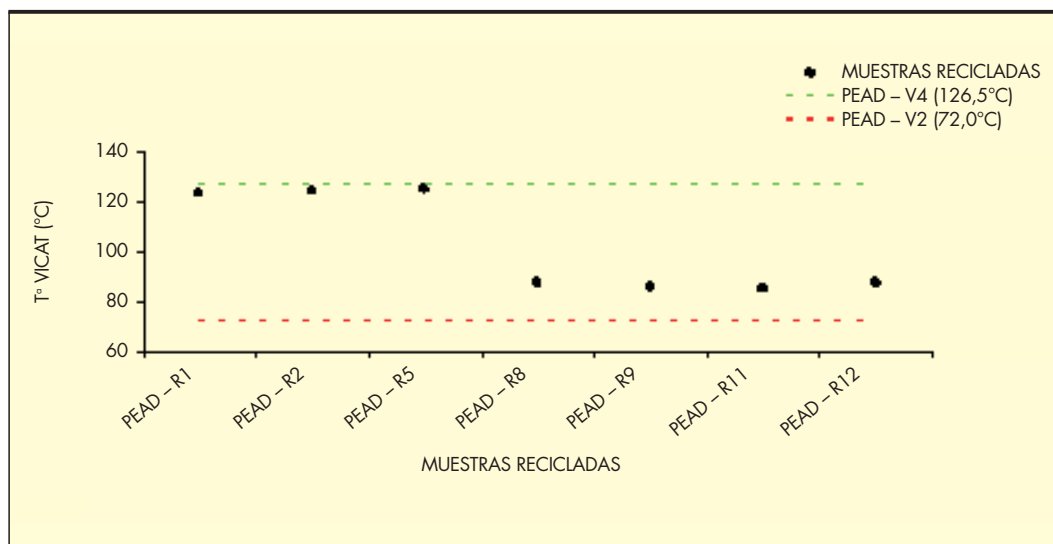


FIGURA 2. T° Vicat.
Comparación de muestras recicladas y vírgenes. (A50).

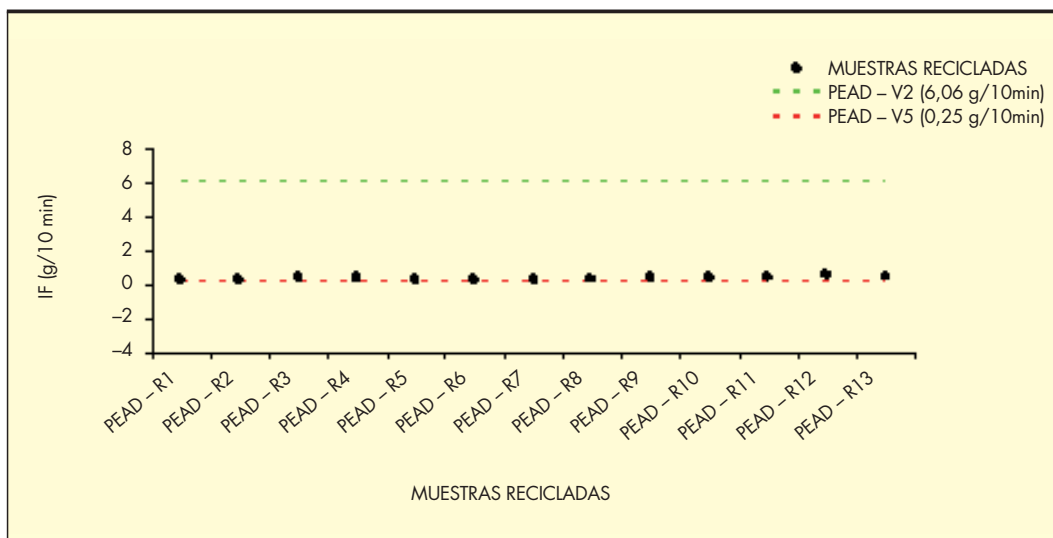


FIGURA 3. Índice de fluidez. Comparación de muestras recicladas y vírgenes. (2,16 kg; 190°C).

dijo anteriormente, estas muestras proceden del mismo tipo de residuo.

Por último, en lo que se refiere al índice de fluidez, en la Figura 3 se comprueba que los valores de las muestras recicladas se encuentran en el rango definido, y muy cerca del límite inferior. Las muestras vírgenes, que en su mayoría proceden de fabricantes de productos de balizamiento por inyección, en general presentan valores de índice de fluidez por encima de 4 g/10 min.

4. CONCLUSIONES

- Los valores de la densidad de las muestras recicladas son comparables a los de las muestras vírgenes. En general, presentan valores altos, acercándose al límite superior del intervalo definido por las vírgenes.
- Los reciclados de residuos de botellas presentan una temperatura Vicat semejante a la de la mayoría de los materiales vírgenes empleados en la fabricación de elementos de balizamiento. Sin embargo, no sucede lo mismo con los materiales procedentes del reciclaje de filmes de invernadero, cuyos valores no se asemejan tanto a los obtenidos en las muestras vírgenes.
- Las muestras recicladas caracterizadas en este estudio serían idóneas para procesar elementos de balizamiento por extrusión. Esto supone una desventaja, ya que la mayoría de las empresas del sector utilizan la técnica de moldeo por inyección, para lo que se requieren materiales de mayor índice de fluidez.
- Del análisis interrelacionado de las tres características, se ha podido comprobar que la densidad y la temperatura Vicat son características directamente proporcionales entre sí, e inversamente proporcionales al índice de fluidez.
- A la vista de los resultados obtenidos, se podría decir que todos los materiales reciclados de este trabajo presentan características semejantes a los materiales vírgenes empleados actualmente en la fabricación de elementos de balizamiento.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carretera y Puentes (PG3).

2. ROSCHKE PAUL N. y HARRISON BEN F. - *Recycled content sign blanks*, Journal of transportation engineering, Vol. 126. No. 5, 434-439 (2000).
3. PARREÑA, A. - *El reciclado de plásticos en España*. Ing. Química: 183 (2004).
4. VILLORIA, M. E.; CASTILLO, F.; PICO, M. P.; SOLERA, R. y BLANCO, M. - *Residuos Plásticos I. Gestión*, Ing. Civil, 146, 55-59 (2007).
5. VILLORIA, M. E.; CASTILLO, F.; PICO, M. P.; SOLERA, R. y BLANCO, M. - *Residuos Plásticos II: Evolución del reciclado*. Ing. Civil, 147, 79-84 (2007).
6. GARCÍA, C, CASTILLO, F.; BLANCO, M y SOLERA, R. - *Caracterización tecnológica de productos poliméricos. Balizamiento de carreteras*. Ing. Civil, 162, 37-42 (2011).
7. GARCÍA, C. "Nuevos destinos de residuos plásticos. Balizamiento de carreteras", Trabajo de Iniciación a la Investigación, Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Químicas (2010).
8. [UNE-EN ISO 1183-1: 2004] "Plásticos. Métodos para determinar la densidad de plásticos no celulares".
9. [UNE-EN ISO 306:2004] "Plásticos. Materiales termoplásticos. Determinación de la temperatura de reblandecimiento Vicat (VST)".
10. [UNE 135362: 94]: "Señalización vertical. Balizamiento. Hitos de arista de PVC rígido; características, medidas y métodos de ensayo".
11. [UNE 135363: 98]: "Señalización vertical. Balizamiento. Balizas cilíndricas permanentes en material polimérico. Características, medidas y métodos de ensayo".
12. [UNE-EN ISO 1872-1: 1993]: "Plásticos. Materiales de polietileno (PE) para moldeo y extrusión. Parte 1: Sistema de designación y bases para las especificaciones".
13. [UNE-EN ISO 293:2003]. "Plásticos. Moldeo por compresión de probetas de materiales termoplásticos".
14. [UNE-EN ISO 1133: 2001]. "Plásticos. Determinación del índice de fluidez de materiales termoplásticos en masa (IFM) y en volumen (IFV)".
15. [UNE-EN 13437: 2004] "Envases y embalajes y reciclado de material. Criterios para los métodos de reciclado. Descripción de los procesos de reciclado y diagramas de flujo".