

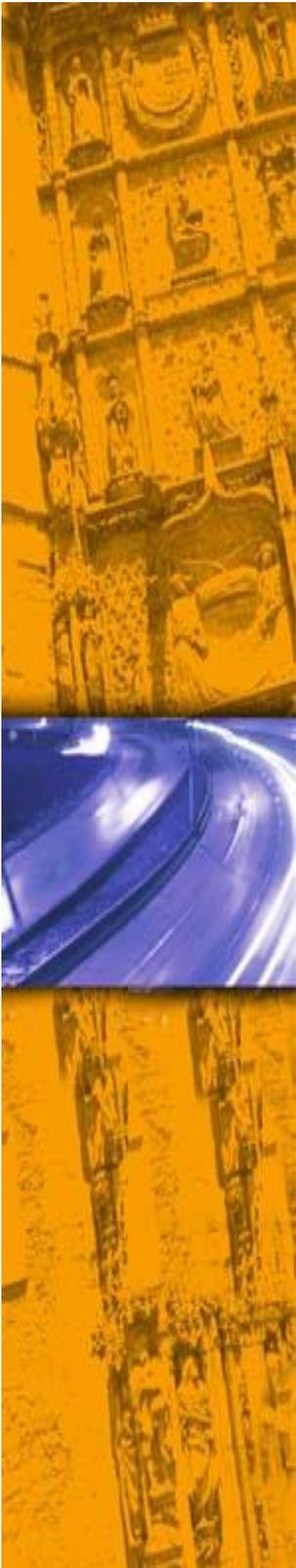
**SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS  
HECHAS CON RESIDUOS PROVENIENTES DE DEMOLICIÓN DE  
CONSTRUCCIONES**

**Autores / Ponente**

**Ignacio Pérez Pérez**  
Profesor Titular  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos  
Universidade da Coruña

**Ana María Rodríguez Pasandín**  
Profesora  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos  
Universidade da Coruña

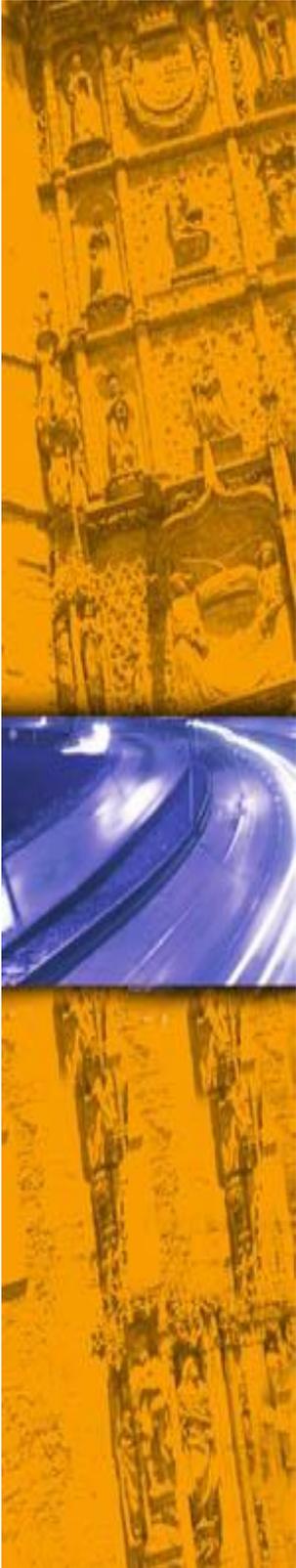
**Sabas Corraliza Tejeda**  
Director Técnico  
Ecoasfalt, S.A.

A vertical decorative image on the left side of the page, composed of three stacked rectangular panels. The top and bottom panels show a close-up of a road surface with tire tracks, while the middle panel shows a blurred view of a road curving into the distance. The entire image has a golden-yellow color scheme.

## RESUMEN

En este trabajo se hace un estudio de la posibilidad de utilización de áridos reciclados de residuos de construcción y demolición (RCD) en mezclas bituminosas en caliente. La dosificación de la mezclas se realizó mediante el método Marshall. La mezcla asfáltica tipo elegida para el estudio fue una G20 con diferentes porcentajes de áridos reciclados. Los porcentajes de áridos reciclados utilizados para la elaboración de las mezclas fueron los siguientes: 0%, 20%, 40% y 60%. Se utilizaron los siguientes tipos de polvo mineral: el del propio árido natural, cemento y cal. Los parámetros Marshall de las mezclas cumplen lo estipulado en el PG-3 para un tráfico T3 o T4. Se realizaron ensayos de inmersión-compresión. Cuando se utilizó polvo mineral de recuperación se observó una mala resistencia conservada. Sin embargo, la resistencia conservada mejora notablemente al emplearse cemento, aunque no llega al 75% que exige el PG-3. Aparentemente, la cal no aporta ninguna ventaja, pues solo aporta una mejoría puntual. De los resultados se deduce que las mezclas bituminosas en caliente fabricadas con áridos reciclados tienen una mala adhesividad y, por ahora, no son susceptibles de ser utilizadas en firmes de carreteras.

Palabras Clave: mezclas bituminosas, residuos de construcción y demolición



## **INTRODUCCIÓN**

Los residuos constituyen uno de los problemas ambientales más graves de las sociedades modernas, en particular de las más avanzadas e industrializadas. Se trata de un problema en aumento, que no deja de agravarse debido al creciente volumen generado y a la estrecha relación de paralelismo entre los niveles de renta y de calidad de vida y el volumen de residuos que generamos.

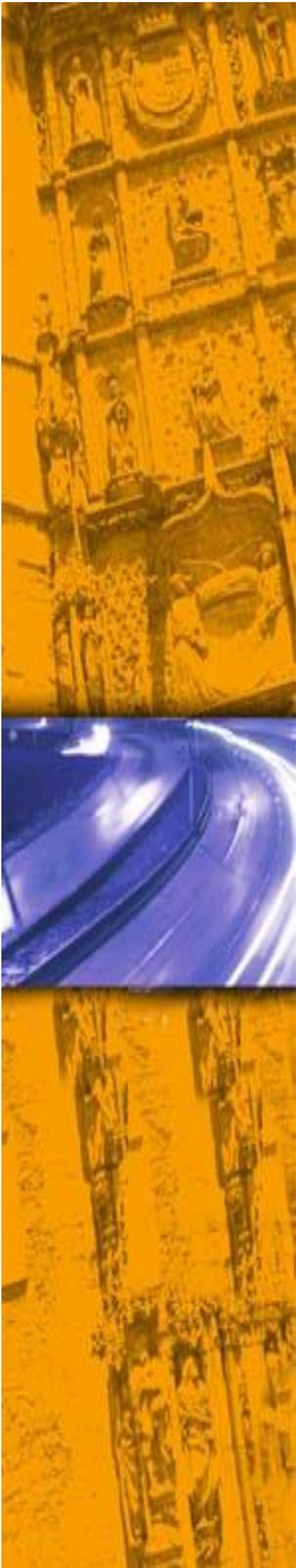
Como la carretera es una obra que consume una gran cantidad de materiales, que habitualmente proceden de la industria extractiva, resulta necesario estudiar a fondo todas las posibles formas de uso de residuos en su construcción. Se trata de que los materiales sean competitivos desde el punto de vista económico y técnico, proporcionando de forma indirecta ventajas medioambientales.

Este trabajo está englobado dentro de un proyecto de investigación más amplio financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y la Xunta de Galicia con el fin de emplear Residuos de Construcción y Demolición en mezclas bituminosas en caliente y en frío.

## **CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES BÁSICOS**

### **Áridos naturales**

Los áridos fueron proporcionados por una cantera, situada en las cercanías de A Coruña, en fracciones 0/6, 6/12 y 12/25. Sus componentes principales son cuarzo (35 %), feldespato sódico (30 %), mica incolora o moscovita (20 %) y clorita (15 %). Cumple las especificaciones del PG-3.



### **Áridos reciclados**

Los áridos reciclados de RCD fueron suministrados por una planta ubicada en Madrid propiedad de la empresa TEC REC. Estos áridos tienen la granulometría requerida para rellenos en la fracción 0/40. Su composición en peso es la siguiente: Hormigón (72%); Piedra (21%); Cerámico (3%); Yeso (1%) y Materiales bituminosos (3%). Los índices de lajas y del equivalente de arena cumplen los requisitos del PG-3. Sin embargo, el valor del coeficiente de Los Ángeles no cumple los requisitos establecidos en el PG-3. Por otra parte, el coeficiente de absorción de los áridos reciclados es muy superior al de los áridos naturales.

### **Betún**

Se eligió un betún de penetración 60/70, con un valor del punto de reblandecimiento de anillo y bola igual a 48,5. El índice de penetración Pleiffer es igual a -0.8. La densidad es de 1,03 g/cm<sup>3</sup>. Se comprobó que el betún cumple todas las especificaciones del PG-3.

### **DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS**

Para realizar el estudio se eligió la mezcla G-20. En total se dosificaron 10 mezclas bituminosas con la misma granulometría pero con diferentes tipos de polvo mineral y porcentajes de áridos reciclados. Las dosificaciones de las mezclas se hicieron empleando el Método Marshall de acuerdo al PG-3.

En la tabla 1 se presenta la granulometría elegida para todas las mezclas.

Tamaños de los tamices UNE-EN-933-2 (mm.)									
Árido grueso					Árido fino				Filler
25	20	12,5	8	4	2	0,50	0,25	0,125	0,063
100	95	75	60	37,75	28,5	13	10	7	4,75

**Tabla 1. Granulometría**

En la tabla 2 se puede observar que los porcentajes de áridos reciclados fueron los siguientes: 0%, 20%, 40% y 60%. Los áridos reciclados fueron utilizados en las fracciones más gruesas de las curvas granulométricas. Por otro lado, se utilizaron los siguientes tipos de polvo mineral: 4,75% de cemento; 3,75% de polvo mineral natural más un 1,00% de cal; y un 4,75% del propio árido natural. En la tabla 2 están reflejados los porcentajes de betún óptimo utilizados para la fabricación de las probetas para el ensayo de inmersión-compresión. Asimismo en dicha tabla se presentan las categorías de tráfico que cumplen los requisitos especificados en el PG-3. Se deduce que todas las mezclas exceptuando la G20-40-NAT son en principio susceptibles de ser utilizadas para tráfico T3 o T4, dependiendo del caso. Obsérvese que la mezcla G20-0-NAT fabricada totalmente con el árido natural de cantera cumple para un tráfico T4. En las figuras 1, 2 y 3 están representadas las curvas con los parámetros Marshall. Se han añadido las curvas del porcentaje de huecos rellenos por el betún y las curvas del Módulo Marshall.

### **ENSAYO DE INMERSIÓN-COMPRESIÓN**

Se fabricaron diez probetas de cada tipo de mezcla que fueron

ensayadas bajo las condiciones que indica la norma de ensayo. En la tabla 3 se pueden observar los resultados obtenidos. En las mezclas que utilizan cemento como polvo mineral, cuando se emplean áridos reciclados, no se cumple el umbral del 75% de índice de resistencia conservada (IRC) que exige el PG-3 para una mezcla bituminosa en caliente. La mezcla G20-0-CEM que utiliza cemento como filler y que no utiliza áridos reciclados da un valor de la resistencia conservada igual al 78%, superando dicho límite.

MEZCLA	% Árido reciclado	Filler	Betún óptimo	Tráfico
G20-0-CEM	0	4,75 % CEMENTO	4,50%	T3 y arcenes
G20-20-CEM	20		5,00%	
G20-40-CEM	40		5,50%	
G20-60-CEM	60		5,50%	
G20-0-CAL	0	3,75% NATURAL+1,00 CAL	4,30%	T3 y arcenes
G20-20-CAL	20		4,70%	T4
G20-40-CAL	40		5,00%	T3 y arcenes
G20-60-CAL	60		5,50%	T4
G20-0-NAT	0	4,75% NATURAL	4,20%	T4
G20-40-NAT	40		4,70%	---

**Tabla 2. Mezclas dosificadas**

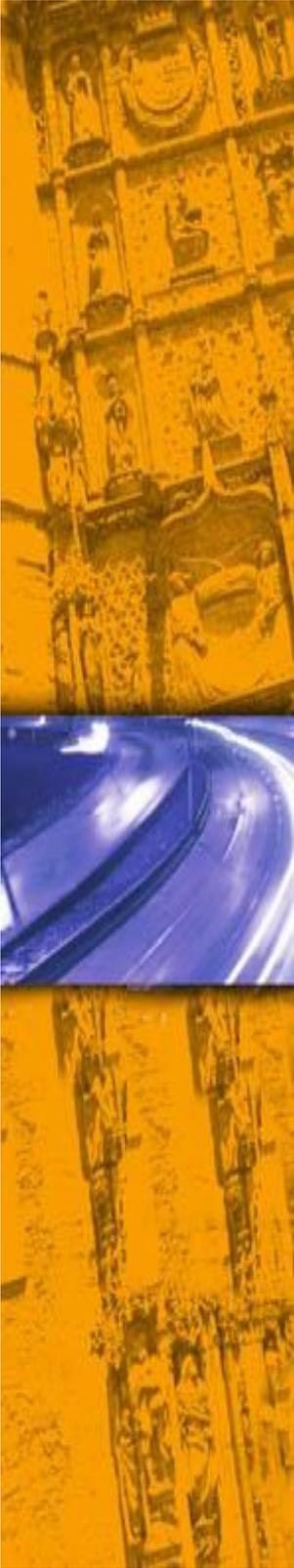
Las mezclas que emplean un 3,75% de polvo mineral más un 1,00% de cal como filler no cumplen tampoco este umbral, exceptuando la mezcla G20-20-CAL que arroja un índice de

resistencia conservada del 79%. La mezcla G20-0-CAL que no tiene áridos reciclados da como resultado un 69% de resistencia conservada. Por último, la mezcla G20-0-NAT que tampoco tiene áridos reciclados y cuyo filler está compuesto solamente de polvo mineral de recuperación arrojó una resistencia conservada del 72%.

Mezcla	Resistencia (MPa)		IRC (%)
	Húmedas	Secas	
G20-0-CEM	1,2547	1,6114	78
G20-20-CEM	1,5347	2,1560	71
G20-40-CEM	1,5847	2,8578	55
G20-60-CEM	1,6816	2,3728	71
G20-0-CAL	1,3105	1,8930	69
G20-20-CAL	1,3175	1,6755	79
G20-40-CAL	1,3891	2,7440	51
G20-60-CAL	1,2684	2,3968	53
G20-0-NAT	1,2970	1,8050	72
G20-40-NAT	1,0506	1,9866	53

**Tabla 3. Valores del ensayo de inmersión-compresión**

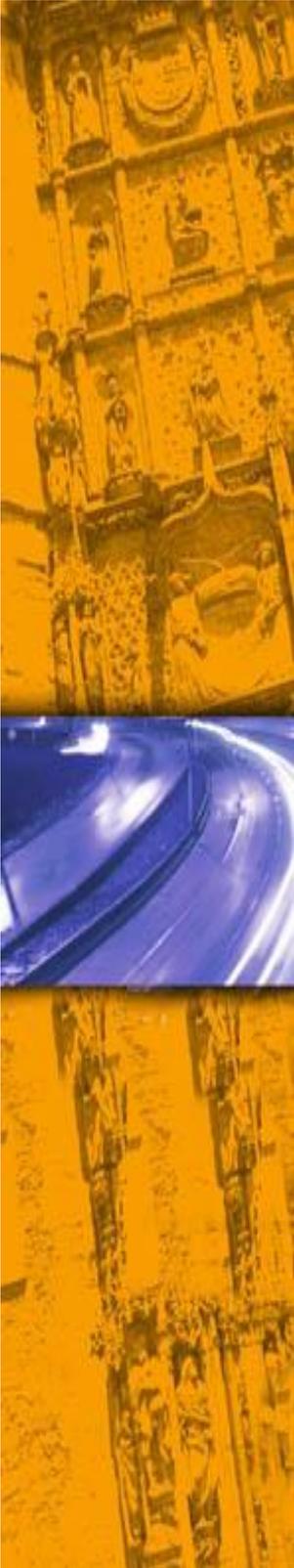
Los resultados de la tabla 3 muestran que las probetas fabricadas con árido reciclado de RCD presentan la mayor resistencia a compresión simple cuando se utiliza cemento como polvo mineral. En la figura 4 se comprueba que este hecho concuerda con la mayor rigidez (Módulo Marshall) de las probetas elaboradas con polvo mineral de cemento.



En la tabla 3 y figura 5 puede apreciarse que las resistencias en seco aumentan considerablemente cuando se utilizan áridos reciclados (exceptuando la mezcla G20-20-CAL) en comparación con las mezclas sin áridos reciclados. Sin embargo, en las resistencias de las mezclas en húmedo no sucede este fenómeno, ya que aumentan ligeramente, o más bien disminuyen, o se mantienen sensiblemente parecidas. Asimismo, se observa que cuando no se emplean áridos reciclados (% de áridos reciclados=0) es mayor la resistencia en seco y en húmedo de la mezcla que utiliza cal como polvo mineral.

### **DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

Los resultados de las resistencias de las probetas, tanto en seco como húmedas, ofrecen una gran variabilidad, no existiendo una tendencia definida de forma clara y concisa. Este hecho puede ser debido a que el árido reciclado es muy heterogéneo y, aunque se han cuarteado las muestras utilizadas en la fabricación de las probetas, no se logra una buena homogeneidad de las características de las probetas de ensayo. El árido reciclado de RCD incluye partículas de yeso y otras impurezas que se desmenuzan y rompen durante el mezclado y el proceso de fabricación de las mezclas bituminosas, afectando negativamente a su granulometría. Además, estas partículas de yeso son indeseables desde el punto de vista de la adhesividad y del comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas. Por tanto, cualquier pequeña cantidad de partículas no deseables de yeso u otras impurezas afecta negativamente a la resistencia mecánica de



una probeta. Todo ello hace recomendable repetir todo el proceso de dosificación de las mezclas pero llevando a cabo una eliminación de impurezas y fragmentos de yeso que puedan haber quedado dentro del árido reciclado durante el proceso de obtención en la planta. Esto permitiría mejorar notablemente la calidad del árido reciclado.

Por otra parte, se ha visto claramente que la utilización de cal no ha presentado una mejoría de la adhesividad (exceptuando la mezcla G20-20-CAL). Sin embargo, parece ser que el cemento ha mejorado ligeramente la adhesividad de las mezclas (exceptuando la G20-40-CAL) Además, se ha visto que al utilizar el filler del árido de recuperación (mezcla G20-0-NAT) se obtiene una adhesividad por debajo del umbral del 75%. Este último dato da una idea de que el árido natural tampoco presenta unas buenas características de adhesividad. Por último, cabe decir que está todavía pendiente la utilización de betunes activados que permitan mejorar la adhesividad de estas mezclas. En este sentido se requiere realizar una mejor caracterización química, mineralógica y micro estructural de los áridos naturales y reciclados. Esta caracterización debería realizarse también con el fin de estudiar la compatibilidad de utilizar otros tipos de polvos minerales y aditivos o desechar los empleados en esta breve comunicación.

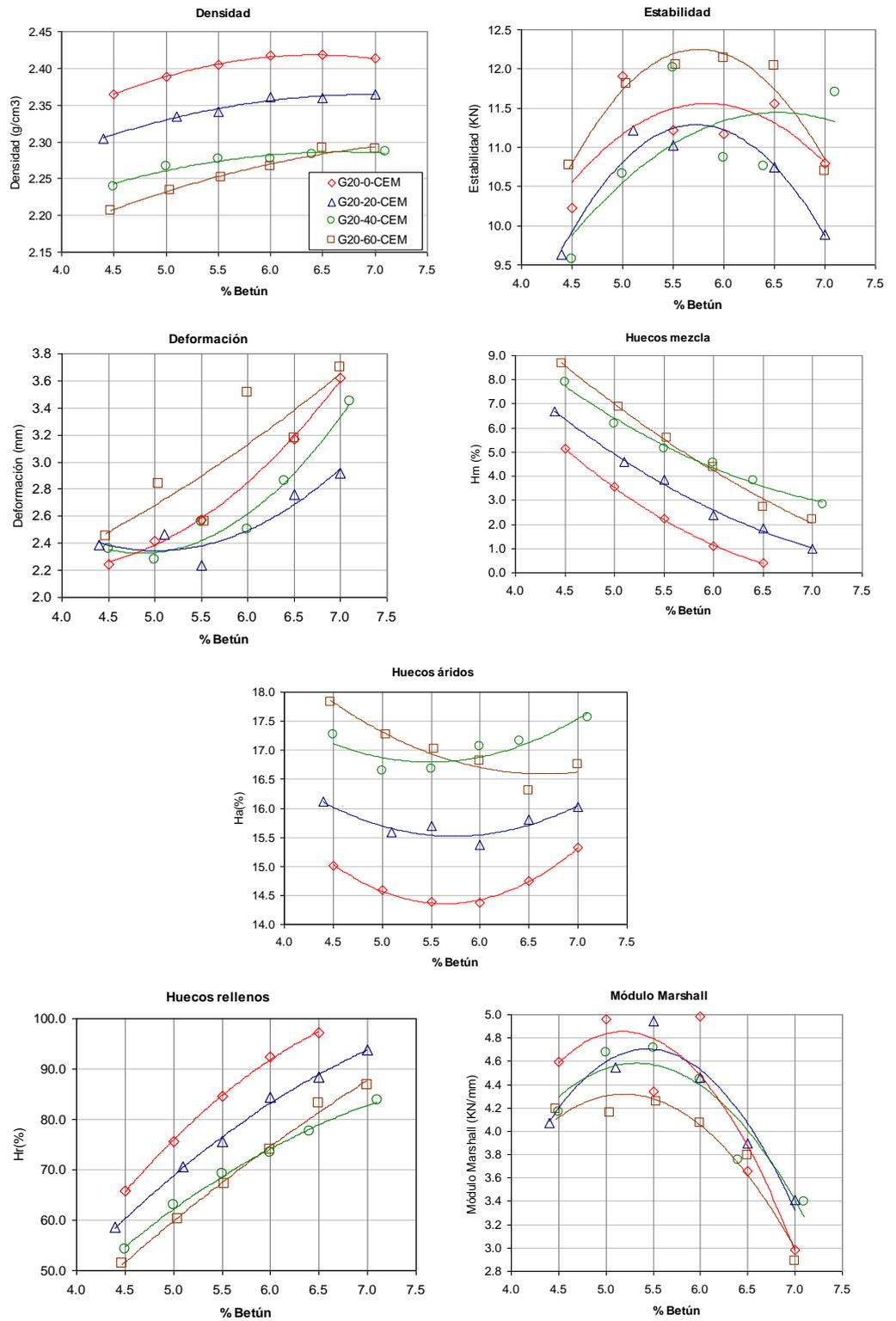
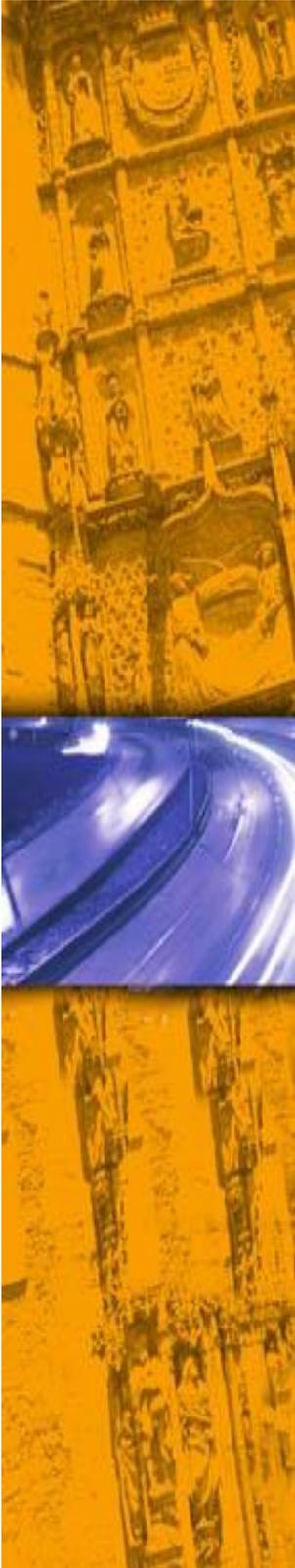


Figura 1. Curvas Marshall, filler cemento.

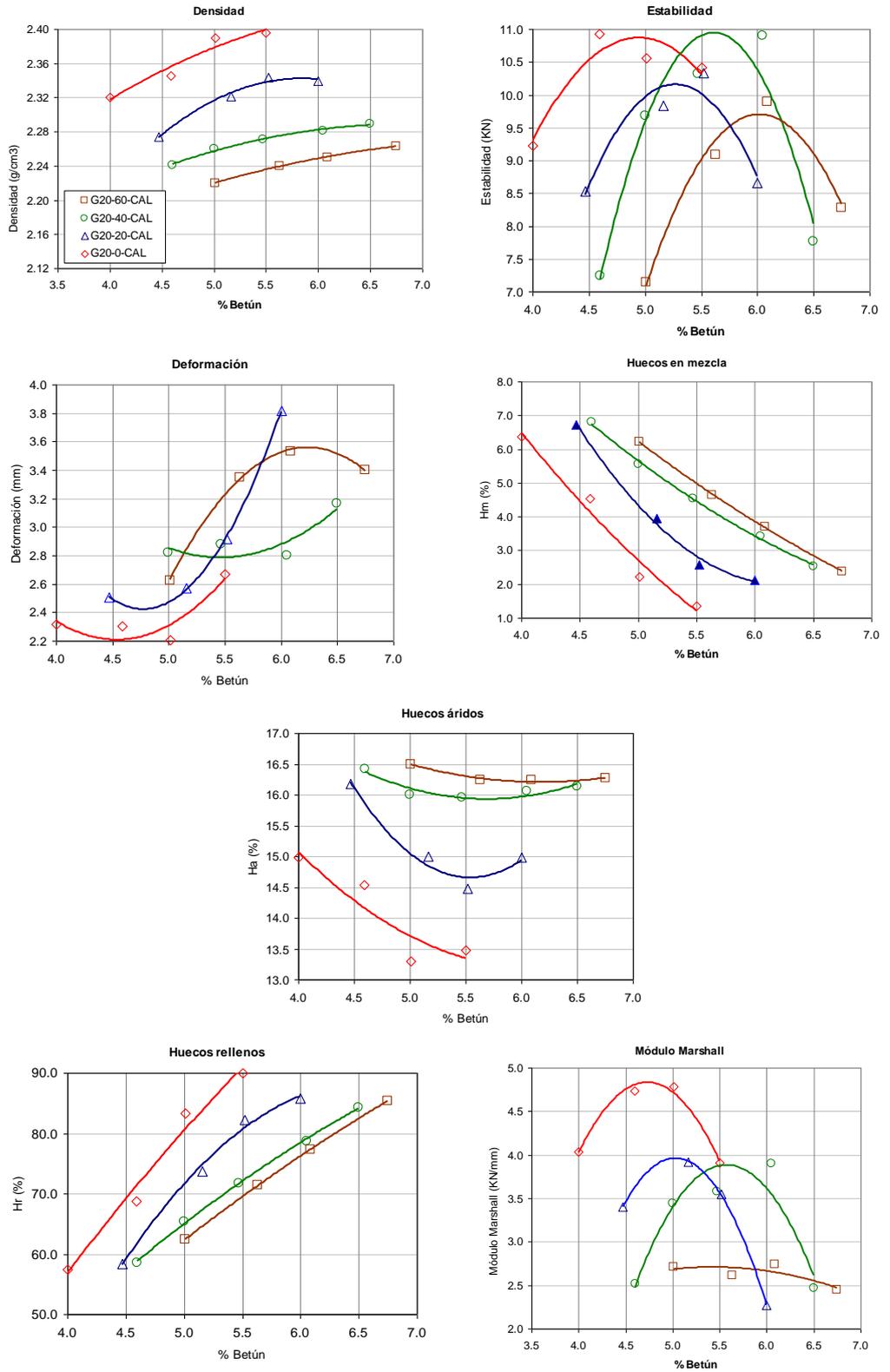
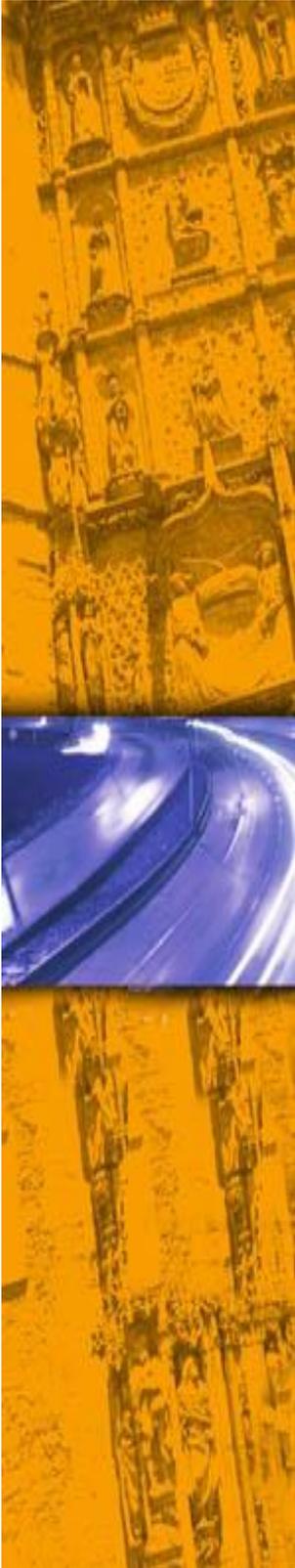
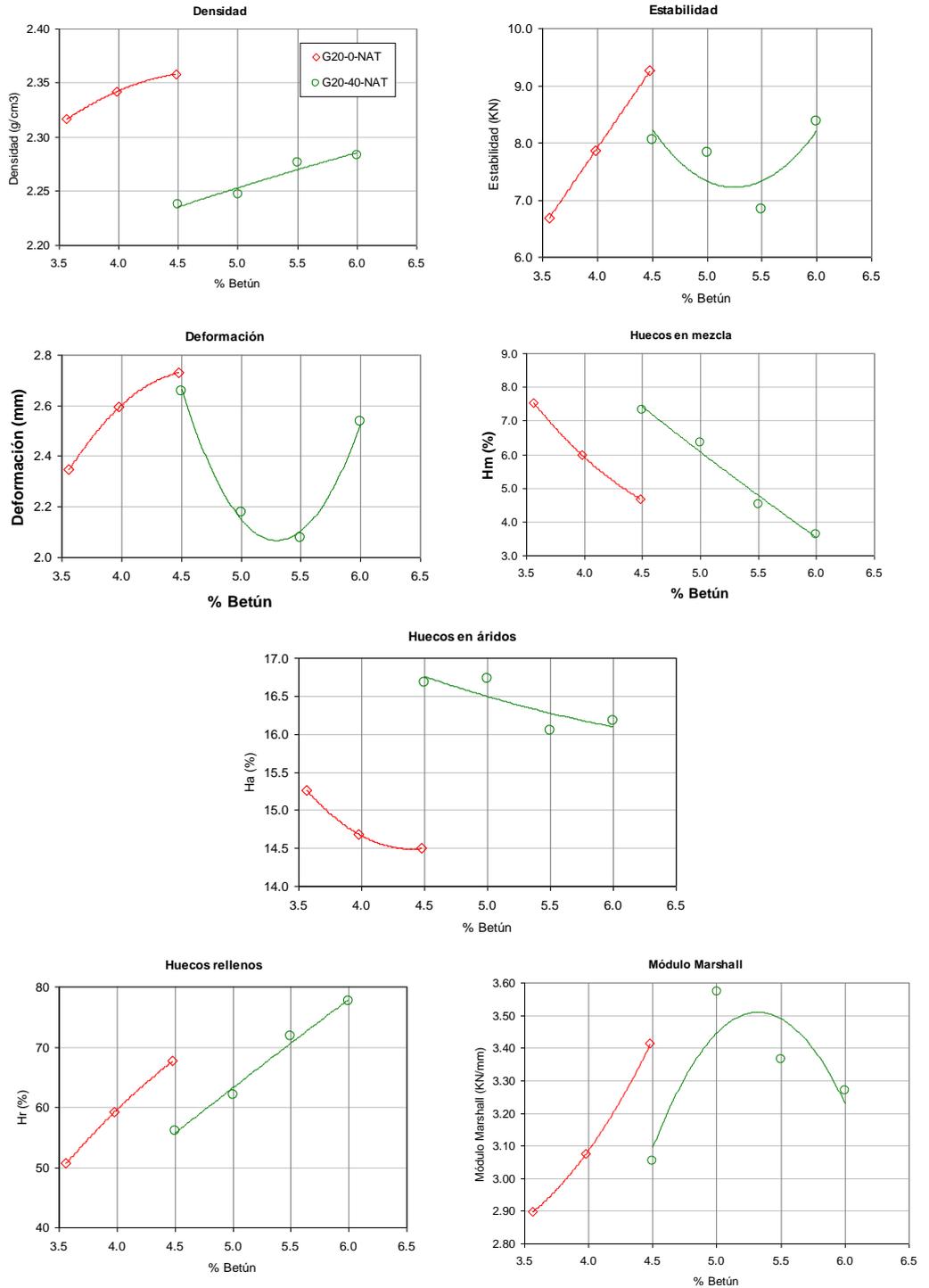
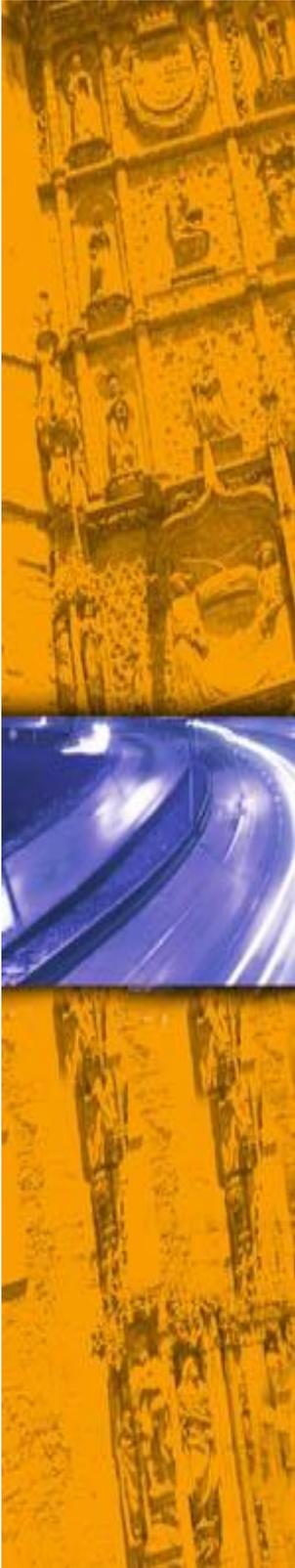
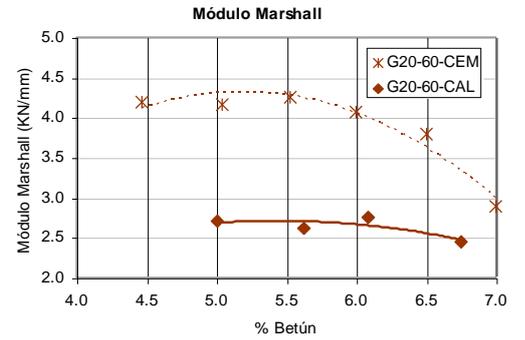
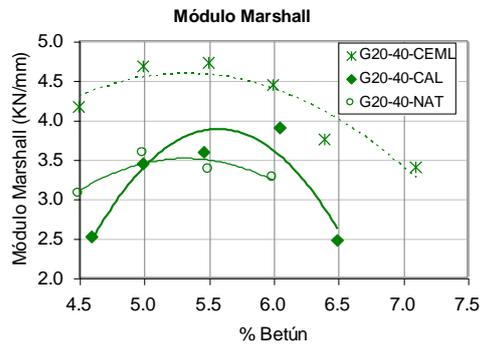
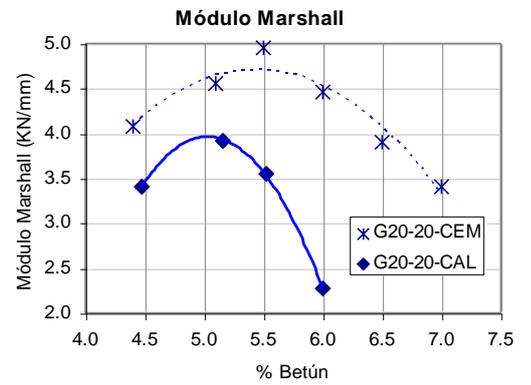
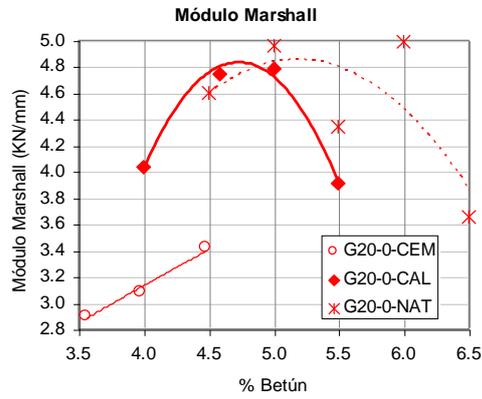
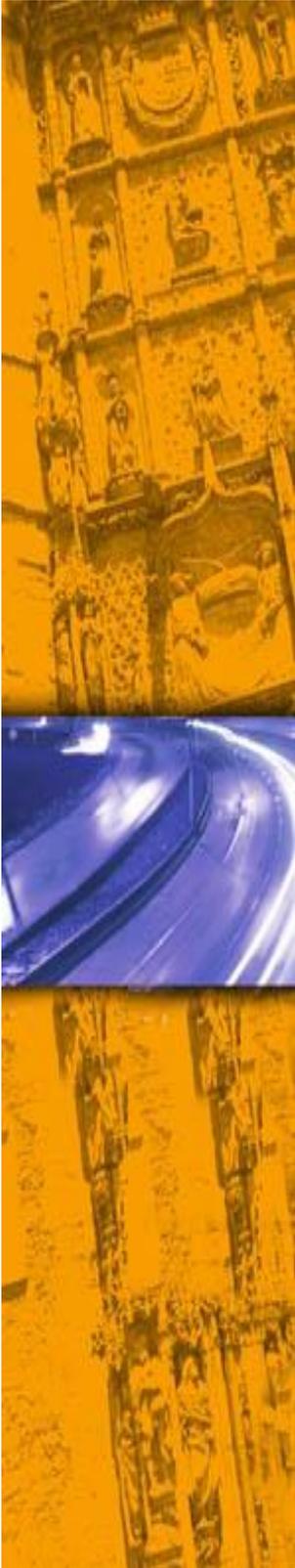


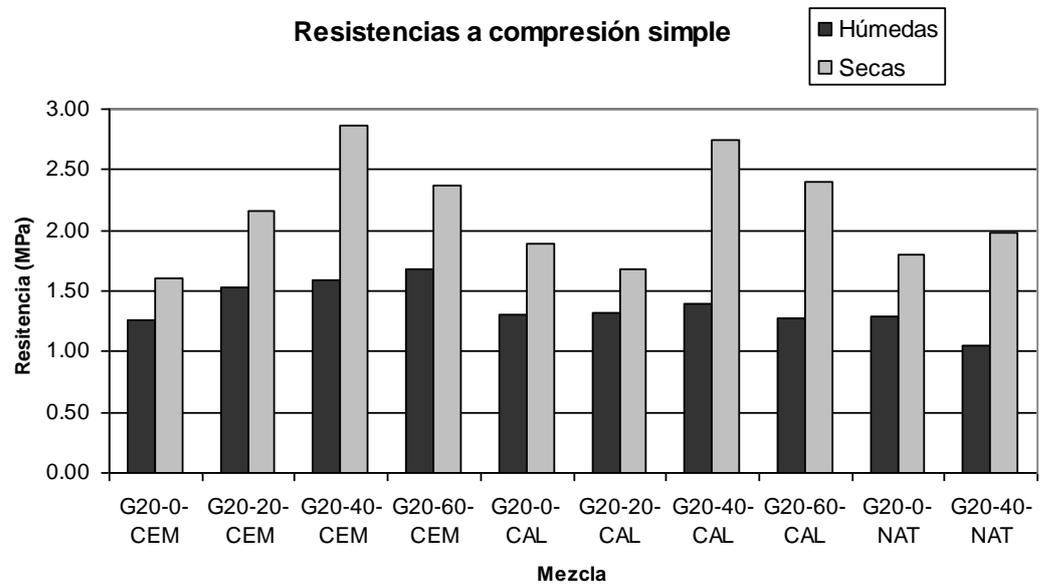
Figura 2. Curvas Marshall, filler natural + cal.



**Figura 3. Curvas Marshall, filler árido de recuperación (natural).**



**Figura 4. Módulo Marshall en función del tipo de filler**

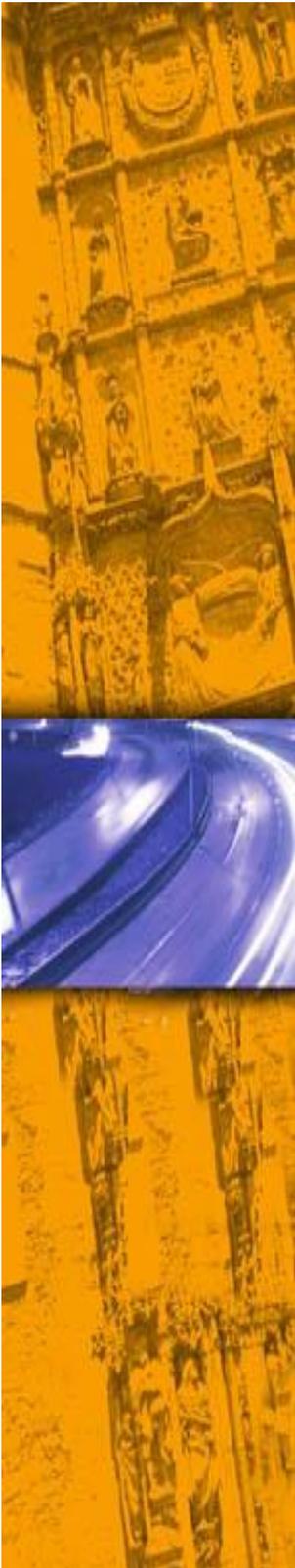


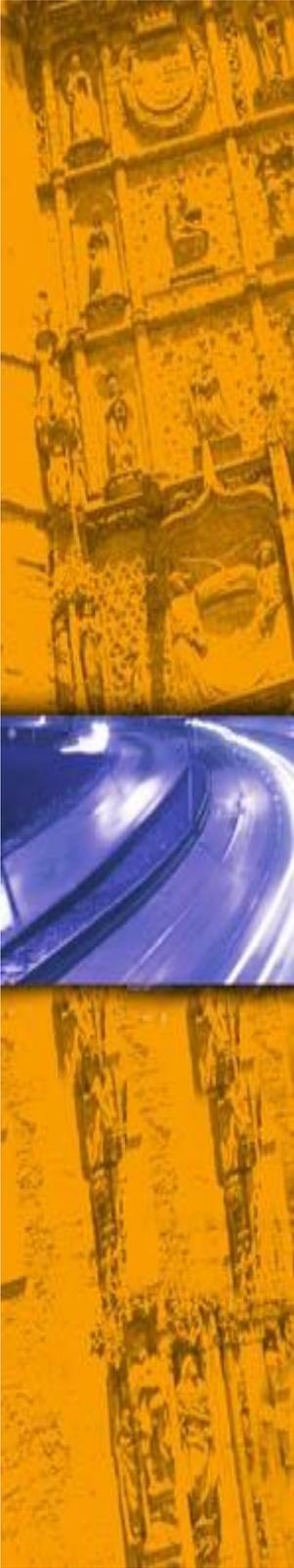
**Figura 5. Resistencias a compresión simple**

## CONCLUSIONES

De los resultados se deduce que las mezclas bituminosas en caliente fabricadas con diferentes porcentajes de áridos reciclados gruesos y con filler de aportación de cemento y cal tienen una mala adhesividad y, por ahora, no son susceptibles de ser utilizadas en firmes de carreteras.

Aún así se ha visto que cumplen los parámetros Marshall para tráficos T3 o T4. Por tanto, es necesario seguir investigando la posibilidad de su utilización en mezclas bituminosas. Está todavía pendiente analizar la utilización de betunes activados que permitan mejorar la adhesividad de estas mezclas. Para ello se requiere realizar una mejor caracterización química, mineralógica y micro estructural de los áridos naturales y reciclados. También es necesario llevar a cabo un proceso de eliminación de impurezas y fragmentos de yeso que puedan haber quedado dentro del árido reciclado durante el proceso de obtención del árido reciclado en la planta.





## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. Ruiz. (2001) Experiencia en España con la utilización de residuos y materiales secundarios en carreteras. Carreteras, nº 118, pp. 8-25.

Dirección General de Carreteras. Secciones de firme de la Instrucción de Carreteras IC. p. 36. Ministerio de Fomento. Ediciones Liteam, Madrid, 2002.

Dirección General de Carreteras. Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes PG-3. Ministerio de Fomento. Ediciones Liteam, Madrid, 2002.

Dirección general de Carreteras. Normas NLT. Ensayos de carreteras. Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), 2ª Edición, Madrid, 1992.

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Manual de normas técnicas UNE-EN. Serie construcción. Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras. Madrid, 2001.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de la comunicación quieren agradecer a la empresa **GALP** el suministro del betún necesario para la realización de los ensayos.