

**RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN  
EN FIRMES DE CARRETERAS LOCALES**

AUTORES

Ignacio Pérez Pérez  
Profesor Titular de Universidade  
Universidade da Coruña  
Escola Técnica Superior de Enxeñeiros de Camiños,  
Canais e Portos

Ana María Rodríguez Pasandín  
Profesora  
Universidade da Coruña  
Escola Técnica Superior de Enxeñeiros de Camiños,  
Canais e Portos

## **RESUMEN DE LA COMUNICACIÓN**

En este trabajo se analiza la posibilidad de utilización de áridos reciclados (AR) de residuos de construcción y demolición (RCD) en mezclas bituminosas en caliente.

Se hizo una caracterización previa de los áridos naturales (AN) y reciclados. La dosificación de la mezclas se realizó mediante el método Marshall. La mezcla asfáltica elegida para el estudio fue una G20, para capa de base, 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%. Por otro lado, se utilizaron dos tipos de áridos naturales: un esquisto feldespático y un árido de naturaleza caliza.

Se puede decir que en líneas generales, los parámetros Marshall de las mezclas cumplen lo estipulado en el PG-3 (del año 2002) para un tráfico T3. Posteriormente, se realizaron ensayos de inmersión-tracción de acuerdo a la nueva norma europea.

De los resultados se deduce que las mezclas bituminosas en caliente fabricadas con diferentes porcentajes de áridos reciclados procedentes de RCD y áridos de una cantera de esquistos tienen una mala adhesividad. Dicha adhesividad se mejora notablemente al eliminar el mortero de cemento adherido a los áridos reciclados, así como otras impurezas. Al fabricar mezclas bituminosas conformadas por áridos reciclados y áridos de naturaleza caliza se produce una mejora de la adhesividad.

Palabras Clave: mezclas bituminosas, residuos de construcción y demolición

## **1. 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 se genera.

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.

Recientemente, el Ministerio de Medio Ambiente ha aprobado el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015, que pretende regular los residuos desde la prevención de su generación y reciclaje y fomentando la investigación en este campo.

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.

## **2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

### **Áridos naturales.**

Se utilizaron dos tipos diferentes de áridos naturales (AN). En primer lugar se dosificaron las mezclas con árido proporcionado por una cantera situada en las cercanías de la ciudad de A Coruña, en fracciones 0/6, 6/12 y 12/25. El árido en cuestión es un Esquito Feldespático cuyos componentes principales son cuarzo (35 %), feldespato sódico (30 %), mica incolora o moscovita (20 %) y clorita (15 %). También se empleó como árido natural una caliza dolomítica procedente de una cantera situada en el municipio de Baralla en la provincia de Lugo.

Ambos áridos cumplen las especificaciones del PG-3 (del año 2002), ya que todas sus caras son de fractura; presentan un índice de lajas en todas las fracciones ensayadas del árido grueso  $\leq 20\%$ ; el coeficiente de Los Ángeles está comprendido entre 25 y 30%; el equivalente de arena es mayor del 50%.

### **Áridos reciclados.**

Los áridos reciclados (AR) de RCD (Figura 1) fueron suministrados por la planta propiedad de la empresa TEC REC ubicada en la carretera de Valdemingómez PK 0+700 (Madrid). Estos áridos tienen la granulometría requerida para rellenos en la fracción 0/40. Su composición, aproximada, en peso es la siguiente: Hormigón (72%); Piedra (20%); Cerámico (3%); Yeso y otras impurezas (1%) y Materiales bituminosos (4%). Los índices de lajas y del equivalente de arena cumplen los requisitos del PG-3 (del año 2002). El valor del coeficiente de Los Ángeles es del 30%. Este valor no cumple los requisitos de tráfico pesado establecidos en el PG-3 (del año 2002) para

tráficos pesados T00 y T0 en capas de base. Por otra parte, el coeficiente de absorción del AR (grosso) es 4,86%, un valor muy superior al ofrecido por los AN.

## **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.

## **3. DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS**

Para realizar el estudio se eligió la mezcla G-20 para su empleo en capas de base. En total se dosificaron 9 mezclas bituminosas con la misma granulometría pero diferentes porcentajes de AR. Las dosificaciones de las mezclas se hicieron empleando el Método Marshall (NLT-159) de acuerdo con el PG-3 del año 2002. En la tabla 1 se presenta la granulometría elegida para todas las mezclas. Como polvo mineral se utilizó en todas ellas un 4,75% de cemento. En la tabla 2 se pueden observar las cuatro mezclas que emplearon esquisto feldespático (Esq.) como árido natural. Los porcentajes de AR de estas mezclas fueron los siguientes: 0%, 20%, 40% y 60%. Estos porcentajes de AR fueron utilizados en las fracciones más gruesas de las curvas granulométricas. Posteriormente, se fabricaron dos mezclas bituminosas con un 20% y un 40% de AR después de ser sometidos a la abrasión de la máquina de Los Ángeles. Estas dos mezclas están especificadas, en la tabla 2, mediante la nomenclatura G20-20(ANG)-Esq.; y, G20-40(ANG)-Esq.



**Figura 1. AR de RCD**

Finalmente, se elaboraron tres mezclas bituminosas empleando el árido natural calizo (Cal), con unos porcentajes de AR del 0%, 20% y 40%. En la tabla 2 están reflejados los parámetros Marshall, así como el porcentaje de betún óptimo utilizado para la fabricación de las probetas del ensayo de inmersión-tracción. De los resultados de dicha tabla se deduce que todas las mezclas son en principio susceptibles de ser utilizadas en capas de base, para tráfico T3, de acuerdo a los requisitos especificados en el PG-3 del año 2002.

<b>Tamaños de los tamices UNE-EN-933-2 (mm.)</b>									
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**

<b>Mezcla</b>	<b>AR %</b>	<b>Bet. %</b>	<b>Ha %</b>	<b>Hm %</b>	<b>Def. mm</b>	<b>Est. KN</b>	<b>Dens. g/cm<sup>3</sup></b>
G20-0-Esq.	0	4,5	14,5	50	2,3	10,5	2,36
G20-20-Esq.	20	5,0	15,5	5,0	2,4	11,0	2,33
G20-40-Esq.	40	5,5	17,0	5,0	2,4	11,0	2,27
G20-60-Esq.	60	5,5	17,0	5,5	2,6	12,2	2,26
G20-20(ANG)-Esq.	20	4,5	15,5	5,0	2,3	10,0	2,32
G20-40(ANG)-Esq.	40	4,5	15,0	5,5	2,5	10,0	2,33
G20-0-Cal.	0	4,0	14,0	5,0	2,3	10,2	2,45
G20-20-Cal.	20	4,3	15,0	5,0	2,4	11,2	2,39
G20-40-Cal.	40	4,5	16,5	7,0	2,7	11,2	2,30

**Tabla 2. Porcentaje de betún óptimo y parámetros Marshall.**

#### **4. ENSAYO DE INMERSIÓN TRACCIÓN**

Para evaluar la resistencia de estas mezclas a la acción del agua se utilizó el ensayo inmersión-tracción según la norma UNE-EN- 12697-12 (Figura 2). Se fabricaron seis probetas de cada tipo de mezcla que fueron ensayadas bajo las condiciones que indica la norma de ensayo. En la tabla 3 y en la figura 3 se pueden observar los resultados obtenidos.

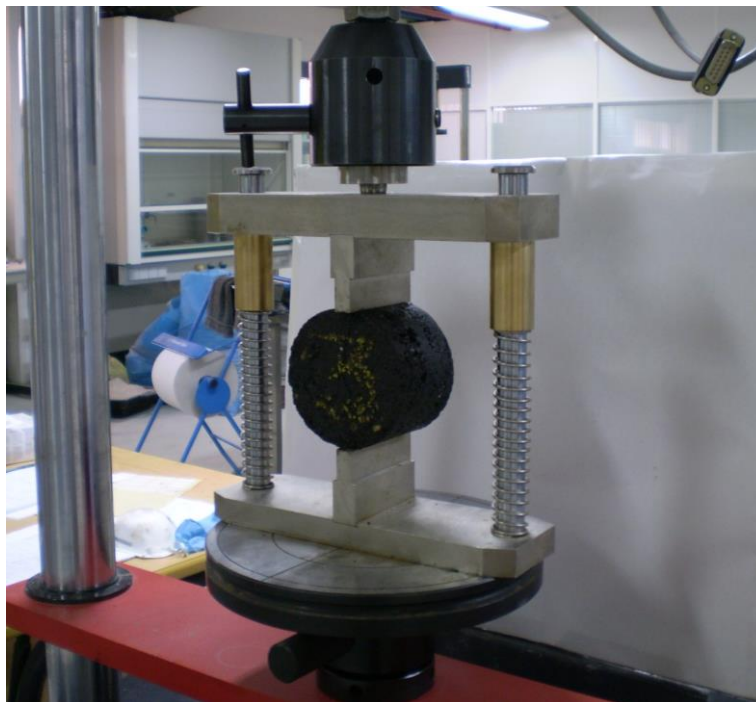
En las mezclas que utilizan como árido natural un 100% del esquisto feldespático (G20-0-Esq.) el resultado del índice de resistencia conservada fue del 79%, no cumpliendo el umbral del 80% de índice de resistencia conservada (RRTI) que exige el PG-3 (del año 2008) para una mezcla bituminosa en caliente utilizada en capa de base.

La mezcla G20-20-Esq. que utiliza un 20% de AR de RCD ofrece un valor de la resistencia conservada igual al 64%, no superando tampoco dicho

umbral. La mezcla G20-20-Esq. que emplea un 40% de AR no cumple tampoco este umbral. La excepción es la mezcla G20-60-Esq. que, inesperadamente, arrojó un índice de resistencia conservada del 87%.

Las mezclas G20-20(ANG)-Esq. y G20-40(ANG)-Esq., que llevan AR sometidos al proceso de abrasión en la máquina de Los Ángeles, superan el umbral del 80% ya que ofrecieron unas resistencias conservadas del 85% y 83%, respectivamente.

Las mezclas que utilizan árido natural calizo G20-0-Cal.; G20-20-Cal., y porcentajes de AR del 0% y 20%, respectivamente, arrojaron unas excelentes resistencias conservadas del 85% y 92% respectivamente. Sin embargo, la mezcla G20-20-Cal., ofreció solamente una resistencia conservada del 72%.



**Figura 2. Ensayo a tracción indirecta.**

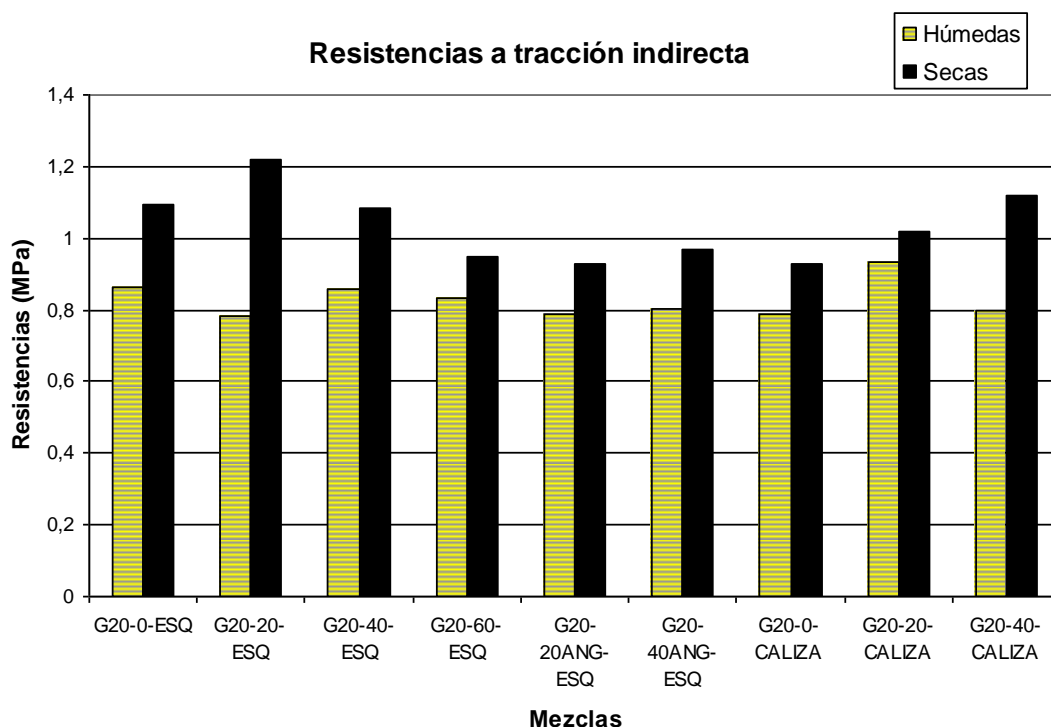
## **5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **Ensayo Marshall**

Los resultados de la tabla 2 muestran que las probetas fabricadas con AR de RCD presentan un mayor porcentaje de huecos en áridos. En dicha tabla se ve claramente que a medida que se incrementa el porcentaje de AR de las mezclas aumenta el porcentaje de huecos en áridos. Así, las mezclas fabricadas con AR requieren un mayor porcentaje de betún óptimo que las mezclas fabricadas solamente con AN. Este comportamiento se produce tanto en las mezclas fabricadas con AR y áridos procedentes del esquisto; como en las mezclas elaboradas con AR y áridos calizos. Asimismo, obsérvese que las densidades de las mezclas disminuyen al incrementarse el porcentaje de AR. Las densidades de las mezclas que incorporan áridos calizos son mayores debido a la mayor densidad relativa de estos áridos. Esto se manifiesta en que las mezclas que contienen áridos calizos tienen un menor porcentaje de huecos en áridos que las mezclas que incorporan el esquisto y, por tanto, es necesario un menor porcentaje de betún óptimo.

Mezcla	Resistencia a tracción indirecta (MPa)		RRTI (%)
	Húmedas	Secas	
G20-0-Esq	0,863	1,094	79
G20-20-Esq	0,783	1,220	64
G20-40-Esq	0,857	1,084	79
G20-60-Esq	0,832	0,950	87
G20-20(ANG)-Esq	0,788	0,927	85
G20-40(ANG)-Esq	0,804	0,968	83
G20-0-Cal.	0,789	0,927	85
G20-20-Cal.	0,934	1,018	92
G20-40-Cal.	0,799	1,118	72

**Tabla 3. Resultados del ensayo de inmersión-tracción**



**Figura 3. Resistencias a tracción indirecta.**

En la tabla 2 puede observarse que, por el contrario, en las mezclas G20-20(ANG) -Esq. y G20-40(ANG)-Esq., que no tienen ni mortero adherido a los AR ni impurezas, se presenta un comportamiento diferente. En este sentido, no se incrementa el porcentaje de huecos con el aumento del porcentaje de AR, ni tampoco requieren una mayor cantidad de betón para rellenar los huecos en áridos. Obsérvese que en estas dos mezclas se obtienen prácticamente los mismos valores de los parámetros Marshall.

De estos resultados se deduce que las mezclas fabricadas con AR tienen más huecos que las mezclas con solamente AN. Este mayor porcentaje de huecos posiblemente sea debido tanto al mortero adherido a los AR provenientes de la demolición de elementos estructurales fabricados con hormigón como a diversas impurezas: yesos, ladrillos, etc., incorporados en los RCD. Todo esto se manifiesta en una mayor absorción de agua.

Además, en la tabla 2 se observa una tendencia de aumento de la estabilidad de las mezclas a medida que se incrementa el porcentaje de AR de las mismas.

### **Ensayo de Inmersión-tracción**

En la tabla 3 puede observarse una gran variabilidad de los resultados de los ensayos de tracción indirecta. Llama la atención que la mezcla G20-0-Esq. ofrece un resultado del 79% de resistencia conservada, no cumpliendo el umbral mínimo del 80% para capas de base. Asimismo, las mezclas G20-20-Esq. y G20-40-Esq. tampoco cumplen dicho umbral. Paradójicamente, la mezcla G20-60-Esq. con el mayor porcentaje de AR ofrece un 87% de resistencia conservada, por encima de dicho umbral. De momento, no se encuentra explicación para estos resultados, ya que la resistencia conservada debería ser menor debido al mayor porcentaje de AR, a no ser que la adhesividad se haya mejorado con la disminución del porcentaje de áridos silicios naturales. Claramente, hay que realizar más probetas para obtener resultados concluyentes.

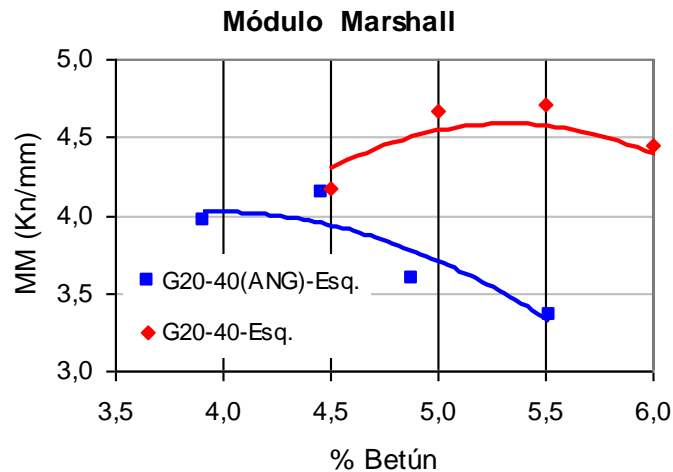
En la mezcla G20-0-Cal. que contiene solamente áridos calizos la resistencia conservada es del 85% y en la mezcla G20-20-Cal. es del 92%. Estos resultados parecen lógicos ya que el árido calizo debe mejorar la adhesividad de las mezclas bituminosas. Sin embargo, la mezcla G20-40-Cal. arroja un resultado pobre, ya que la resistencia conservada es de tan solo el 72%. En este caso el resultado también parece coherente, ya que con un mayor porcentaje de AR debe disminuir la adhesividad.

En la tabla 3 puede observarse que en las mezclas G20-20(ANG) –Esq. y G20-40(ANG)-Esq. se producen unos buenos resultados de la resistencia conservada, siendo éstas muy parecidas, del 85% y 83% respectivamente. En estos resultados pudo haber influido el hecho de que el AR es muy heterogéneo. El AR de RCD incluye yeso y otras partículas indeseables que se desmenuzan y rompen durante el mezclado y el proceso de fabricación de las probetas, afectando de forma negativamente a su granulometría. Además, estas partículas de yeso son perjudiciales desde el punto de vista de la adhesividad. Cualquier pequeña cantidad de estas partículas no deseables de yeso u otras impurezas puede afectar negativamente a la resistencia mecánica de una probeta tras la inmersión en agua. Por tanto, después de someter los AR a la abrasión de la Máquina de Los Ángeles se eliminan todas estas impurezas y fragmentos de yeso que hay en el AR. Asimismo, se elimina el mortero adherido a los AR. Esto permite mejorar notablemente la calidad del AR.

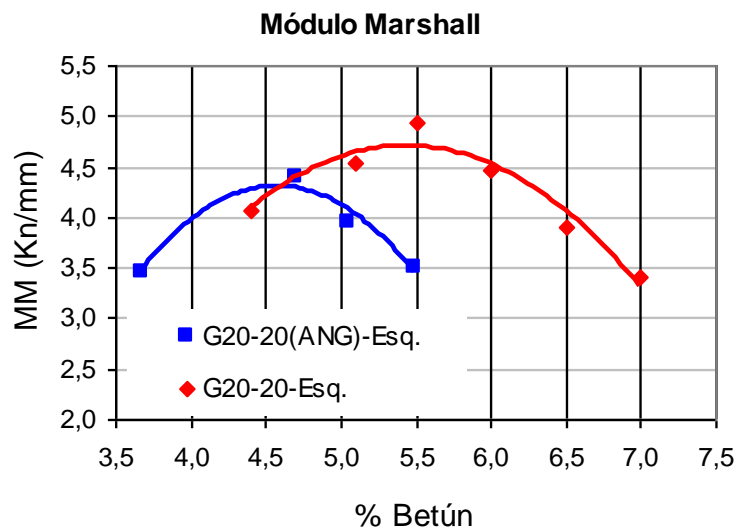
En las figuras 4 y 5 están representados los valores del Módulo Marshall en función del porcentaje de betún para dos tipos de mezclas. Puede observarse que las mezclas que contienen AR, en los que se ha eliminado el mortero adherido, tienen una menor rigidez que las mezclas con AR. Así, en la figura 4 la mezcla G20-40(ANG)-Esq. está situada por debajo de la mezcla G20-40-Esq. Lo mismo ocurre en la figura 5. Estos resultados



muestran que al eliminarse el mortero de cemento e impurezas hay una mejora de la adhesividad y una disminución de la rigidez de las mezclas.



**Figura 4. Rigidez de las mezclas con un 40% de AR.**



**Figura 5. Rigidez de las mezclas con un 20% de AR.**

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 con otros polvos minerales y aditivos. Finalmente, se deben realizar muchos más ensayos con un mayor número de probetas para que los resultados sean más representativos y significativos.

## 6. CONCLUSIONES

De esta investigación se deducen las conclusiones siguientes:

- Las mezclas bituminosas en caliente fabricadas con diferentes porcentajes de AR gruesos y con polvo mineral de aportación de cemento presentan una mala adhesividad. Esta mala adhesividad se ve

incrementada en áridos de naturaleza silíceo. Cuando se utilizan AR y áridos de naturaleza caliza se mejora notablemente la adhesividad de las mezclas. Según parece el mortero adherido a los AR, así como diversas impurezas, influyen negativamente en la adhesividad y la resistencia mecánica tras inmersión en agua.

- Hasta que no se encuentre solución los problemas mencionados en el punto anterior, estos áridos no son susceptibles de ser utilizados en mezclas bituminosas de firmes de carreteras.
- Las mezclas bituminosas elaboradas con AR parecen ser más rígidas que las que no tienen este tipo de áridos.
- Es necesario seguir investigando la posibilidad de utilización de estos AR en mezclas bituminosas en caliente y en frío.

## **7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). "Manual de normas técnicas UNE-EN. Serie construcción. Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras". p. 526. Madrid, 2001.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). "Norma UNE-EN 12697-23. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayos para mezclas bituminosas en caliente. Parte 23: Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de probetas bituminosas". Madrid, 2004.
- Dirección general de Carreteras. "Normas NLT. Ensayos de carreteras". Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), 2ª Edición, Madrid, 1992.
- 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. "Orden circular 24/2008 sobre el Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). Artículos: 542-Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso y 543-Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas". Ministerio de Fomento. Madrid, 2008.
- Pérez, I., Toledano, M., Gallego, J., Taibo, J. "Propiedades mecánicas de mezclas bituminosas en caliente fabricadas con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición. Materiales de Construcción". Vol. 57, 285, 17-29, 2007.
- Pérez, I., Toledano, M., Gallego, J., Taibo, J. "Viability of the use of Construction and Demolition Debris in Hot Mix Asphalt" Eight International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields. The University of Illinois at Urbana-Champaign. June 29-July 2, USA, 2009.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores quieren agradecer a **TEC REC** y **galp energía** el suministro de materiales.