

Empleo de residuos de construcción y demolición en mezclas bituminosas

Pérez Pérez, Ignacio; Toledano Prados, Mar; Taibo Pose, Javier

Universidade da Coruña. España

Gallego Medina, Juan

Universidad Politécnica de Madrid. España

RESUMEN

En este trabajo se dosificaron mezclas bituminosas fabricadas con áridos reciclados de residuos de construcción y demolición. Se realizaron una serie de ensayos que permitieron caracterizar el comportamiento mecánicos de estas mezclas. Los parámetros mecánicos de la mezcla con áridos reciclados son similares a los de las mezclas fabricadas únicamente con áridos naturales de cantera. Sin embargo, las mezclas bituminosas con áridos reciclados tuvieron un mal comportamiento frente a la disminución de la resistencia por pérdida de cohesión por la acción del agua.

1. INTRODUCCIÓN

Los Residuos de Construcción y Demolición se generan en grandes cantidades y su volumen supera al de origen doméstico. Su poder contaminante es bastante bajo. Por el contrario, su impacto visual es con frecuencia alto, debido tanto al gran volumen que ocupan como al escaso control ambiental ejercido sobre los terrenos elegidos para su depósito. Un segundo impacto ecológico negativo se deriva del despilfarro de materias primas.

Cabe decir que dada la enorme cantidad de áridos que se consumen en los firmes de carreteras, parece adecuado pensar en la posibilidad del uso de los RCD en sus diversas capas.

El objetivo de esta ponencia es investigar las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas en caliente elaboradas con áridos reciclados para su empleo en carreteras.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Se investigó la factibilidad de dosificar dos tipos de mezclas bituminosas en caliente a partir de áridos reciclados (AR) en diferentes proporciones. Asimismo, con el fin de comparar los resultados se dosificaron los mismos tipos de mezclas bituminosas elaboradas con áridos naturales (AN) de cantera. Las dosificaciones de las mezclas se hicieron de acuerdo al Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, también denominado PG-3 (Dirección General de Carreteras, 2002a).

Para caracterizar los materiales básicos se utilizaron las normas técnicas españolas NLT (Dirección General de Carreteras, 1992) del Centro de Estudio de Carreteras y las normas UNE-EN de AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2001).

2.1. Definición de las mezclas

Se estudió como capa de base una mezcla G-20; mientras que como capa intermedia se estudió una mezcla S-20. La mezcla G-20 es una mezcla gruesa cuya granulometría es continua, con un tamaño máximo de 25 mm. Está compuesta en casi tres cuartas partes por árido grueso, con un contenido de filler y betún que ronda el 4 %. La mezcla S-20 es una mezcla semidensa de granulometría continua, con tamaño máximo de 25 mm. Está compuesta en torno a las dos terceras partes por árido grueso, con un contenido de filler y betún que ronda el 5 %.

Betún. Se optó por elegir un betún de uso convencional con propiedades medias. En concreto se seleccionó un betún de penetración 60/70 (NLT-124), con un valor del punto de reblandecimiento de anillo y bola (NLT-125) igual a 48.5. El índice de penetración Pleiffer (NLT-181) es igual a -0.8. La densidad es de 1.03 g/cm^3 (NLT-122). Este betún posibilita su uso en multitud de circunstancias de tráfico y climas. En una zona templada se puede utilizar como capa de rodadura, intermedia y de base. Se comprobó que el betún cumple todas las especificaciones del PG-3.

Áridos naturales. Estos áridos fueron proporcionados por una cantera en fracciones 0/6, 6/12 y 12/25. La roca de la que proceden los áridos es un esquisto feldespático de grano fino producido por metamorfismo regional, compuesto por filitas grises con abundantes lentes de cuarzo microscópicas intercaladas entre unos planos de esquistosidad muy plegados. Sus componentes principales son cuarzo (35%), feldespato sódico (30%), mica incolora o moscovita (20%) y clorita (15%). Esta roca presenta un color gris lustroso y buenas propiedades como árido para capas de base, intermedia y de rodadura. Estos áridos cumplen las especificaciones del PG-3, ya que el índice de lajas en todas las fracciones ensayadas es $<20\%$ (UNE-EN933-3), todas sus caras son de fractura (UNE-EN933-5); el equivalente de arena es de un 70.1 y un 75.4% (UNE-EN933-8); el coeficiente de Los Ángeles está comprendido es 19.4 y 22.1% (UNE-EN1097-2). El coeficiente de absorción del agua es 0.17 y 0.19% (UNE-EN-1097-6). La densidad de los áridos en aceite de parafina (NLT-167) es 2.69 g/cm^3 .

Áridos Reciclados. Los áridos reciclados tienen la granulometría requerida para rellenos en la fracción 0/40. Su composición en peso es la siguiente: hormigón (72%); Piedra (20%); Cerámico (2%) y betún (6%). En la granulometría S-20 cuando se utiliza un 100% de AR los valores del índice de lajas, caras de fractura y equivalente de arena cumplen los requisitos del PG-3. Sin embargo, el coeficiente de desgaste de Los Ángeles supera ampliamente los valores especificados, ya que presenta un resultado del 39.65%. También, cabe destacar el alto valor del coeficiente de absorción del agua, igual al 6.1%, 36 veces

superior al valor de la granulometría S-20 con un 100% de AN. La densidad de los áridos en aceite de parafina es 2.58 g/cm^3 . Por otra parte, al emplear en todos las fracciones, tanto de las granulometrías S-20 como G-20, un 50% de AN + un 50% de AR se observó que los valores del índice de lajas, del equivalente de arena también cumplen los valores establecidos. En este caso, lógicamente, se obtuvieron unos menores valores de los coeficientes de Los Ángeles, aunque todavía no cumplen lo especificado en el PG-3 para carreteras con tráfico medio. Los valores del coeficiente de absorción del agua siguen siendo elevados, del orden de 27 a 25 veces los valores obtenidos con un 100% de AN. Por último, al combinar los dos tipos de áridos se produce un incremento de la densidad relativa en aceite de parafina hasta alcanzar un valor igual a 2.66 g/cm^3 .

Filler. El filler utilizado en todos los casos fue el proveniente del proceso de trituración del árido natural. Esto se hizo así procurando que el mástico se comporte de igual manera en los dos casos.

2.3. Ensayos mecánicos

Se realizaron ensayos Marshall (NLT-159), inmersión-compresión (NLT-162) y de pista en laboratorio (NLT-173) se con objeto de buscar la dosificación óptima de la mezclas para poder ser utilizada dentro de alguna de las categorías de tráfico recogidas en el PG-3. Como complemento de estos estudios se realizaron ensayos de fatiga (NLT-350), que sin ser preceptivos en el Pliego de carreteras, permiten profundizar en el comportamiento de la mezcla bituminosa frente al inicio de fisuras debido a la presencia de solicitaciones cíclicas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de los ensayos Marshall

Los resultados obtenidos con el método Marshall evidenciaron la imposibilidad de utilizar únicamente árido reciclado en mezcla. Para la mezcla S-20-AR, compuesta por 100% árido reciclado, se observó que las mezclas tenían poca cohesión, el árido más grueso no se encontraba correctamente envuelto por el betún y, el conjunto tenía un aspecto terroso. Este comportamiento se debe a la excesiva porosidad del árido; al aumentar la superficie específica del mismo se requieren mayores cantidades de betún para conseguir la suficiente cohesión. Las mezclas fabricadas con un 5,90% de betún, arrojaron valores de Ha, E y D elevados, pero dentro del PG-3. En cambio, el valor de Hm era del 11.7 (%), por tanto, no se cumplió este criterio preceptivo para la fabricación de mezclas bituminosas en caliente para su uso en firmes. Para las dosificaciones realizadas con menores cantidades de betún no se consiguió consistencia en las mezclas, que terminaban por disgregarse.

Del análisis de los resultados anteriores se optó por dosificar las mezclas con AR utilizando un 50 % de árido reciclado. En las mezclas con AN se eligió la cantidad de filler en función de la relación ponderal filler-betún recomendada en el PG-3; mientras que en

las mezclas con AR se tuvo que elevar la cantidad de filler hasta casi el límite superior del huso.

A partir de los resultados obtenidos del ensayo Marshall se seleccionaron las proporciones de B_o , para cada tipo de mezcla, que cumpliera con los requisitos del PG-3 para las diferentes categorías de tráfico. En la mezcla S-20-AN el porcentaje de B_o adoptado es igual al 5% sobre el peso total de los áridos. Con esta dosificación la mezcla cumple para las categorías de tráfico T3 y T4. Para la mezcla G-20-AN el porcentaje de B_o adoptado es igual al 4.25%, por tanto, se verifican todos los requisitos de los T3 y T4. En la mezcla S-20-AR el porcentaje de B_o es el 5.90%, confirmándose todos los requisitos desde T1 hasta T4. Finalmente, en la mezcla G-20-AR el porcentaje de B_o es igual al 4.75%; aquí el comportamiento es peor, ya que solamente se cumplen todos los requisitos de la categoría T4. Los resultados del ensayo Marshall para las dosificaciones seleccionadas se incluyen en la Tabla 1.

Mezcla	Parámetros Marshall					
	B_o (%)	H_a (%)	H_m (%)	D (mm)	E (kN)	D_a (g/cm ³)
S-20-AN	5.00	15.0	4.0	2.6	10.8	2.40
S-20-AR	5.90	20.2	8.0	2.9	12.6	2.28
G-20-AN	4.25	18.0	8.9	2.8	11.0	2.30
G-20-AR	4.75	20.9	11.0	2.7	11.5	2.22

Tabla 1. Resultados del ensayo Marshall

Mezcla	IC (%)	VD ($\mu\text{m}/\text{min}$)	Ley de fatiga			MD (MPa)
			k	B	R^2	
S-20-AN	76.99	19.29	0.0029	-0.1903	0.8575	3866
S-20-AR	63.72	15.07	0.0051	-0.2716	0.9697	5016
G-20-AN	79.34	----	0.0060	-0.3064	0.8620	4086
G-20-AR	50.26	----	0.0045	-0.2823	0.9502	4675

Tabla 2. Resultados de los ensayos mecánicos

3.2. Índice de resistencia conservada

Los resultados del índice de resistencia conservada IC(%) se presentan en la Tabla 2. Para las mezclas S-20-AN y G-20-AN los valores obtenidos son ligeramente superiores del 75%. Con respecto a las mezclas con AR la resistencia conservada no cumple con las especificaciones del PG-3. En particular los valores de la G-20 AR fueron inferiores a los obtenidos con las mezclas S-20-AR

La mezcla S-20-AR presenta un valor de huecos en mezcla no excesivamente alto (8%). Por tanto, la entrada de agua en el interior de la misma y la consiguiente pérdida de resistencia debería ser parecida al de otras mezclas con la misma cantidad de huecos. Una posible explicación a este resultado sería que dada la naturaleza de los áridos reciclados, que contiene entre ellos materiales arcillosos y hormigón, podría haber favorecido la retención de agua en su interior, desplazando el betón y disminuyendo consecuentemente la resistencia. Los valores tan bajos obtenidos para la G-20-AR se pueden explicar en base al elevado porcentaje de huecos en mezcla que presenta sumado a la naturaleza arcillosa de los RCD (igual que en la mezcla S-20-AR).

3.3. Deformación permanente

Los resultados de la media de las VD de las probetas de las mezclas S-20 se presentan en la Tabla 2. En la mezcla S-20-AN, la velocidad VD es igual a $19.29 \mu\text{m}/\text{min}$.; y en la mezcla S-20-AR es $15.07 \mu\text{m}/\text{min}$. Ambas cumplen el límite de $20 \mu\text{m}/\text{min}$. Obsérvese que la mezcla S-20-AN presenta una elevada deformación al principio del ensayo, pero a medida que éste discurre se va estabilizando. En cambio, en la mezcla S-20-AR, al principio del ensayo la deformación es menos elevada que en el caso anterior. En la mezcla S-20-AN la estabilización de VD se produce antes que en la S-20-AR. Hacia el final del ensayo la deformación se va incrementando ligeramente en la S-20-AN, mientras que van decreciendo en la S-20-AR. De no variar esta tendencia, la S-20-AN podría ser poco resistente a largo plazo a las deformaciones plásticas. La mezcla S-20-AR se comporta mejor frente a las deformaciones plásticas.

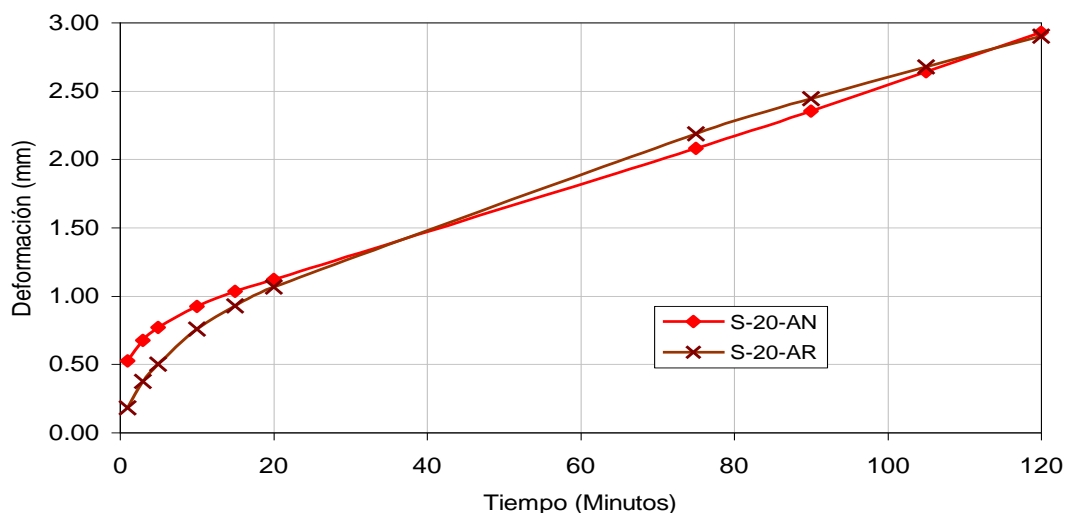


Figura 1. Ensayo de Pista de Laboratorio

3.4. Ley de fatiga

Los valores experimentales de ϵ y N para las mezclas estudiadas están representados en escala logarítmica en las figuras 2 y 3. En estas figuras se han incluido también las leyes de fatiga del Centro de Experimentación de Obras Públicas (Cedex) (García, 2000) y las contempladas en la Instrucción 6.1-IC (Dirección General Carreteras, 2002b) para las mezclas G-20 y S-20 para comparar los resultados obtenidos y determinar si el agotamiento que sufren las mezclas ante la presencia de cargas cíclicas está dentro de los límites esperados.

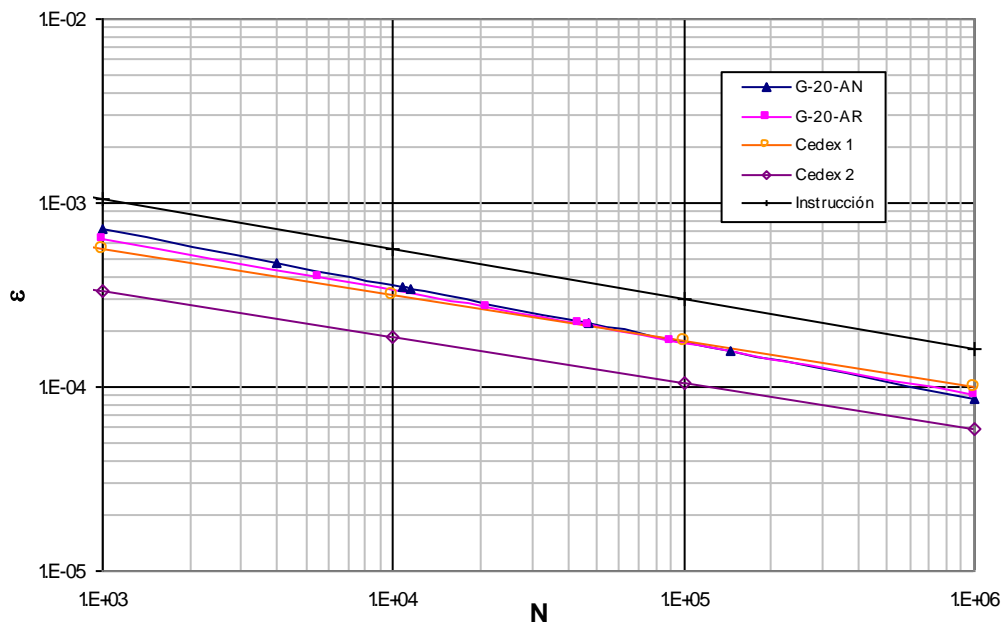


Figura 2. Leyes de fatiga de las mezclas G-20

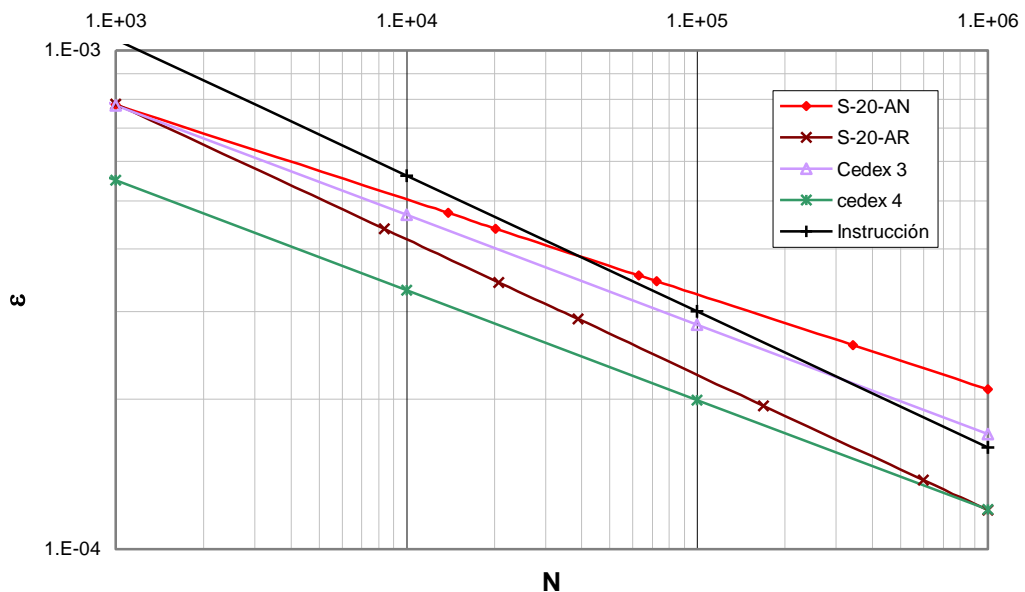


Figura 3. Leyes de fatiga de las mezclas S-20

En la figura 2 se observa que tanto la mezcla G-20-AN como la mezcla G-20-AR presentan un comportamiento a fatiga muy similar. Esto se refleja en que sus pendientes (B) y coeficientes (k) son similares (Tabla 2). Con respecto a las curvas del Cedex y de la Instrucción, las mezclas G-20-AN y G-20-AR, por un lado están situadas sobre la ley Cedex 2; y, por otro lado, están siempre por debajo de la ley de la instrucción (con pendientes ligeramente más pronunciadas).

En la figura 3 se puede observar que la mezcla S-20-AN y la mezcla S-20-AR presentan un comportamiento a fatiga diferente. La mezcla S-20-AR tiene una pendiente (B) mucho más pronunciada que la mezcla S-20-AN. La ley de la mezcla S-20-AR está dentro de ese intervalo marcado por el CEDEX (con pendiente más pronunciada) y, por el contrario, la ley de la mezcla S-20-AN se sale favorablemente fuera del mismo (con pendiente mucho menos pronunciada). La pendiente de la ley de la instrucción es más pronunciada que la ley de de la mezcla S-20-AN. Para una misma deformación unitaria la ley de la mezcla S-20-AN predice un mayor número de ciclos para llegar al agotamiento que las leyes de la mezcla S-20-AR y de la instrucción. Se puede deducir que las mezclas S-20-AN presentan un mejor comportamiento que las mezclas S-20-AR, aunque el de ésta última es aceptable.

Módulo Dinámico

Los valores de los módulos dinámicos se presentan en la Tabla 2. Los valores del módulo dinámico de las mezclas S-20 con betún 60/70 se encuentran dentro de un intervalo usual de 6000 ± 1000 MPa (García, 2000). En este sentido la mezcla S-20-AN es ligeramente inferior al módulo usual para este tipo de mezclas. Sin embargo, la mezcla S-20-AR está dentro de ese intervalo. Por otra parte, el intervalo de valores de los módulos para las mezclas G-20 con un betún 60/70 es de 5500 ± 1000 MPa. En este sentido la mezcla G-20-AN está por debajo de ese intervalo y la mezcla G-20-AR está dentro del mismo. Se obtienen mezclas de mayor rigidez cuando se añade AR. Las rigideces concuerdan de manera razonable con la capacidad de soportar las cargas de las mezclas, reflejado en los valores de estabilidad obtenidos en los ensayos Marshall. Estos módulos bajos ponen de manifiesto un punto de debilidad de las mezclas fabricadas con AN. Al no ser lo suficientemente rígidas, con el paso del tráfico, se deformarían de forma excesiva al no absorber de forma adecuada las tensiones. Ello podría favorecer una fisuración temprana de la mezcla más superficial al tener una capa de base poco rígida.

4. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se pueden extraer de este trabajo de investigación son las siguientes:

- 1) Se ha podido llevar a cabo una dosificación de mezclas bituminosas que contienen árido reciclado en un 50% de peso, en todas las fracciones. Estas mezclas tienen un contenido de betún superior al de las mezclas realizadas sólo con árido natural y además necesitan una mayor cantidad de filler, y sólo así, se han podido cumplir los

requisitos que el PG-3 establece para los parámetros obtenidos en el ensayo Marshall en carreteras de bajo tráfico. Por otro lado, no se ha podido realizar una dosificación de mezclas realizadas únicamente con árido reciclado.

- 2) Las mezclas realizadas con árido natural presentan un comportamiento adecuado a la acción del agua, cumpliendo los requisitos establecidos para el ensayo de inmersión-compresión, mientras que las mezclas realizadas con un 50% de árido reciclado presentan una pérdida de resistencia excesiva.
- 3) En general las mezclas S-20 se comportan bien frente a las deformaciones plásticas, cumpliendo con los valores exigidos en el PG-3 para carreteras de bajo tráfico.
- 4) En cuanto a las leyes de fatiga obtenidas, éstas son muy parecidas a las de otros autores. Los valores del módulo dinámico son razonables, siendo mayores en mezclas con árido reciclado al 50%.
- 5) De acuerdo a las conclusiones anteriores se puede decir que existe la posibilidad de uso de mezclas realizadas con árido reciclado en carreteras de bajo tráfico. No obstante, todavía hay que seguir investigando en las distintas soluciones que se pueden introducir para mejorar el comportamiento frente al agua. Así, se presenta una serie de alternativas para alcanzar resultados más favorables en el futuro; entre las que se destacan:
 - Selección de áridos reciclados de mejor calidad
 - Disminución de la proporción de árido reciclado en la mezcla
 - Utilización de fílleres de aportación como cal y cemento
 - Utilización de betunes más duros o modificados

BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

Dirección General de Carreteras (2002b). Secciones de firme de la Instrucción de Carreteras IC. Ministerio de Fomento. Madrid.

García, J (2000). Caracterización de módulos, fatiga y otros ensayos dinámicos. Jornada sobre caracterización y control de mezclas bituminosas. p. 21. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Madrid.