

Evaluación de la adhesividad árido-ligante mediante el método funcional UCL.

Efecto del tipo y de la naturaleza del filler.

Ing. Félix Pérez Jiménez
Ing. Rodrigo Miró Recasens
Ing. Adriana Martínez ESPANA

Tomado del 10º Congreso Ibero-Latinamericano del Asfalto

INTRODUCCION

Para que un ligante proporcione cohesión a un material granular debe en primer lugar envolver y recubrir a éste quedándose adherido. Si no hay adherencia árido-ligante difícilmente permanecerán las partículas del árido unidas, siendo fácilmente disgregada la mezcla. Esta unión árido-ligante que se produce fácilmente cuando el árido está seco y el ligante tiene consistencia fluida, se puede perder en presencia de agua. El árido tiene mayor avidez por el agua que por el betún y poco a poco se va interponiendo entre éste y el árido, dando lugar a un proceso de desmenuamiento.

El proceso de desmenuamiento se ve afectado por muchos factores, entre ellos la acidez y textura de los áridos y la viscosidad y naturaleza del betún. Para mejorar la cohesión proporcionada por el betún se recurre en el proceso de fabricación de las mezclas a la adición de filler, que se mezcla íntimamente con el betún, dando lugar al mástico bituminoso, y que presenta una mayor viscosidad y tenacidad que el ligante original. Este efecto beneficioso del filler puede resultar altamente perjudicial en el caso de emplear filleres hidrófilos que tienen una gran avidez por el agua y que aceleran enormemente el proceso de desmenuamiento.

Por ello suele limitarse su finura y densidad aparente, con las que está relacionada su actividad con el agua. Pero ésta depende no sólo de las características físicas de las partículas, sino también de su naturaleza química, que no es tenida en consideración en los métodos tradicionales.

La metodología aquí propuesta viene a resolver en parte los problemas planteados, puesto que ayuda a la evaluación de los filleres de una manera funcional y directa teniendo en cuenta cuál es el principal fin buscado cuando se incorpora a la mezcla bituminosa: mejorar su cohesión tanto en seco como en presencia de agua. El método

UCL evalúa mediante el ensayo Cántabro la cohesión proporcionada por un betún a una mezcla patrón y como ésta varía al añadir los distintos tipos de filleres.

Estos ensayos han puesto también de manifiesto que el efecto del filler viene afectado por la naturaleza del árido que compone la mezcla. Es por tanto necesario para seleccionar el tipo de filler, conocer cuál va a ser su respuesta en presencia del agua en función de la naturaleza del árido y del ligante empleado. El único procedimiento que permite tener en cuenta todos estos factores en la caracterización y estudio de las propiedades de los filleres es precisamente el método UCL aquí recogido.

Aplicación del método UCL en la valoración de la adhesividad

Valorar la adhesividad árido-ligante por los procedimientos habituales presenta ciertas limitaciones. Normalmente, se recurre a ensayos cualitativos de desmenuamiento en agua o bien a determinar la resistencia conservada de la mezcla tras un período de inmersión. El primer procedimiento tiene el inconveniente de la subjetividad y su falta de precisión y, el segundo, el que no valora la adhesividad de un árido frente a un ligante, sino la de la mezcla en conjunto, lo que impide aislar el efecto de los diferentes componentes.

El procedimiento desarrollado se basa en fabricar una mezcla abierta, sin finos ni filler, únicamente con las partículas gruesas del árido a ensayar, y determinar la pérdida de la resistencia a la abrasión de la probeta, evaluada mediante el ensayo Cántabro, tras un período de inmersión.

Aunque en la fabricación de las probetas puede emplearse cualquier granulometría con tal de que no tengan finos ni polvo mineral, las granulometrías recomendadas

son las siguientes:

Granulometría T-10

Tamices UNE (mm)	12,5	10	5	2,5	0,93
% Pasa	100	82	38	6	0

Granulometría T-5

Tamices UNE (mm)	5	2,5	0,63
% Pasa	100	20	0

La primera permite emplear partículas de áridos de mayor tamaño, mientras que la segunda ofrece una mayor repetibilidad en la obtención de resultados.

La probeta de mezcla es elaborada según el procedimiento Marshall, empleando en su compactación 50 golpes por cara. Las probetas se fabrican con 1.000 g de árido, añadiendo el porcentaje de betún y de filler que se desee estudiar.

Las condiciones de inmersión de las probetas pueden variarse según las necesidades del estudio, aunque lo normal suele ser 4 días a 49 °C o 1 día a 60 °C.

Las probetas se ensayan en la máquina de Los Angeles a la temperatura de 25 °C, debiendo transcurrir un día desde su extracción del baño y su ensayo.

Con el fin de mostrar la gran sensibilidad del método UCL para evaluar la adhesión del árido-ligante y para caracterizar el efecto del filler para mejorar la cohesión en seco y en húmedo de las mezclas asfálticas, se recogen en esta ponencia los resultados de su aplicación al estudio de la adhesividad de cinco betunes a un árido granítico y del efecto del filler sobre la adhesividad del

betún a los áridos.

Estudio de la adhesividad arido-ligante

El método UCL es un procedimiento excelente para evaluar la adhesividad arido-ligante y poder valorar con gran precisión el efecto de los activantes. A diferencia de la mayoría de los métodos de ensayos que son del tipo subjetivo y que se basan en determinar el grado de desvuelta que presentan los áridos tras permanecer un cierto tiempo sumergidos en agua, el procedimiento del método UCL determina la pérdida de cohesión de la probeta fabricada con el betún y el arido objetos del estudio, sin arido fino ni filler. Es un procedimiento cuantitativo y como se puede ver en los siguientes resultados, de gran sensibilidad.

En la tabla 1 y en la figura 1 se recogen los resultados en seco y tras inmersión del estudio de la adhesividad de cinco ligantes diferentes frente a un arido granítico. Se trata de tres betunes de la misma penetración, B-60/70, y de distinta procedencia (N1, N2 y N3) y de dos betunes modificados (M1 y M2). La granulometría empleada en el estudio es la T-10 y se ha empleado un 4,5% del ligante en la fabricación de las probetas. Las características de estos betunes se han recogido en las tablas 2 y 3. Los ensayos de adherencia realizados con los procedimientos convencionales no mostraron diferencias significativas entre ellos. Los cinco mantienen sus partículas recubiertas en más de un 95% tras permanecer sumergidos en agua 16 horas, ensayo NLT-166/92. Sin embargo, existen diferencias notables entre ellos tal y como queda reflejado en la figura 1.

Entre los betunes de penetración, el N3 presenta peor adhesividad, con casi el doble de pérdidas tras inmersión (64,7%) que los otros dos, que presentan una adhesividad muy similar (37,6 y 35,5% para el N1 y el N2, respectivamente).

Por su parte, los betunes modificados presentan mejor adhesividad que cualquiera de los betunes de penetración, mostrándose mejor el M1, aunque esta diferencia no se aprecia a 100 revoluciones. En cambio, a 300 vueltas se observa como el M1 se mantiene con pérdidas inferiores a las del cualquier otro ligante, mientras que el M2 alcanza valores a los de los betunes N1 y N2 (del orden del 90%)

Efecto del filler

Con el fin de mostrar las posibilidades del método UCL en el estudio del efecto del filler para mejorar o empeorar esta adhesividad en función de su naturaleza y del arido ensayado, se ha estudiado en laboratorio la respuesta de las siguientes

mezclas fabricadas con las siguientes combinaciones:

- Arido calizo, con filleres calizo, cemento y ofítico.
- Arido ofítico, con filleres calizo, cemento y ofítico.
- Arido silíceo, con filleres calizo, cemento y silíceo.

CARACTERÍSTICAS	LIGANTE		
	N1	N2	N3
Penetración a 25 °C, 100 g, 5s (0,1 mm)	64	67	64
Punto de reblandecimiento A y B (°C)	50.8	49.2	46.8
Índice de penetración	-6.4	-6.7	-1.4
Punto de fragilidad Frass (°C)	-18	-15	-13
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min (cm)	100+	100+	100+
Solubilidad en 1, 1, 1-Tricloroetano	99.5+	99.5+	99.5+
Contenido de agua (% en volumen)	0	0	0
Inflamabilidad VIA (°C)	250+	250+	250+
Densidad a 15 °C (g/cm ³)	1.037	1.043	1.024

Tabla 1: Pérdidas al Cántabro en seco y tras inmersión a 100, 200 y 300 revoluciones.

CARACTERÍSTICAS	LIGANTE	
	M1	M2
Penetración a 25 °C (0,1 mm)	63	75
Punto de reblandecimiento A y B (°C)	64.1	76.7
Índice de penetración	2.47	5.07
Temperatura de fragilidad Frass (°C)	-18	-19
Intervalo de plasticidad (°C)	82.1	95.7
Ductilidad a 5°C (cm)	10	63
Ductilidad a 25°C (cm)	29	100
Recuperación elástica (%)	40	95
Viscosidad a 135 °C (cSt)	715	901
Viscosidad a 150 °C (cSt)	376	527
Viscosidad a 185 °C (cSt)	209	307

Figura 1. Efecto del tipo de ligantes sobre las pérdidas de penetración N1, N2 y N3

ARIDO	FILLER	HUECOS EN LA MEZCLA (%)			
		RELACIÓN FILLER/BETUN			
		0	0.5	1	2
CALIZA	CEMENTO	21	18.4	17	14.2
	CALIZA	21	18.2	17	13
	OFITA	21			14
OFITA	CEMENTO	25.5	23.4	20.8	18.2
	CALIZA	25.5	22.7	21.7	18.8
	OFITA	25.5	23.5	21.7	18
SÍLICE	CEMENTO		23.2	19.8	17.3
	CALIZA		21.8	21.7	17.4
	SÍLICE		21.8	20.8	18.6

Tabla 2: Características de los ligantes de penetración N1, N2 y N3

La densidad aparente de los distintos filleres es: Caliza: 0,76; Cemento: 0,76; Ofita: 0,90; Silíceo: 0,91. Las mezclas fueron todas fabricadas con un betón B-60/70 empleando un contenido del ligante del 5% y cuatro relaciones filler/betón: 0, 0,5, 1 y 2. La granulometría empleada es del tipo T-10.

Para cada tipo de árido y filler, con el porcentaje del ligante y las relaciones filler/betón establecidas, se ha determinado la porosidad de las mezclas fabricadas y sus pérdidas al Cántabro, en condición seca y después de inmersión en agua. Los resultados se observan en las tablas 4 y 5.

Con respecto a la variación del porcentaje de huecos en la mezcla en función de la relación filler/betón, se ha observado que el tipo de filler utilizado no afecta a esta variable. Se han graficado los resultados obtenidos en la figura 2, donde puede verse que la tendencia de todos los áridos con los distintos tipos de filleres es la misma. Aunque la granulometría es siempre la misma, la forma y el tipo de árido influyen en las compacidades obtenidas.

Respecto a los ensayos de pérdidas por desgaste se obtienen las siguientes conclusiones:

Las pérdidas en condición seca disminuyen a medida que la relación filler/betón en la mezcla se incrementa, sin afectar el tipo de filler empleado. Se observa que las mezclas con árido calizo que son los que menos huecos tienen son también las que presentan mayor resistencia a la disgregación, figuras 3, 4 y 5.

En estudios anteriores ya se ha observado que existe una relación filler/betón óptima, pasando la cual un aumento del porcentaje del filler en la mezcla comienza a ser perjudicial. Esta relación filler/betón óptima varía con la naturaleza del filler y del ligante, aunque normalmente es mayor que 2. Es importante recordar este valor en el diseño de mezclas porosas, considerando que un aumento en el porcentaje de filler en la mezcla puede aumentar significativamente su resistencia al desgaste, mientras que su porosidad y permeabilidad apenas varían.

La naturaleza y tipo de filler son especialmente importantes en las pérdidas después de inmersión en agua. Mientras

parece que el tipo de filler no influye sobre las pérdidas en condición seca, el tipo de filler es fundamental en las pérdidas por abrasión después de inmersión. En las figuras 3, 4 y 5 se observan las pérdidas al Cántabro en condición seca y tras inmersión, para los áridos calizo, ofítico y silíceo respectivamente.

Puede observarse que el uso de un filler dado puede duplicar o aún triplicar las pérdidas luego de la inmersión. Además, el tipo de filler que ofrece los mejores resultados no siempre es el mismo, sino que varía con la clase de árido grueso que se combina. De este modo, las pérdidas más

REVOL (N°)	CONDICIONES DE ENSAYO	TIPO DE LIGANTE				
		N1	N2	N3	M1	M2
100	En seco	3.9	4.7	7.7	2.0	1.8
	Tras inmersión	37.6	35.5	64.7	15.3	13.9
200	En seco	11.4	9.8	15.0	4.7	4.1
	Tras inmersión	75.1	73.0	93.5	57.5	75.3
300	En seco	16.4	14.6	22.6	8.7	6.9
	Tras inmersión	91.1	90.0	100	77.4	89.7

Tabla 3: Características de los ligantes modificados M1 y M2

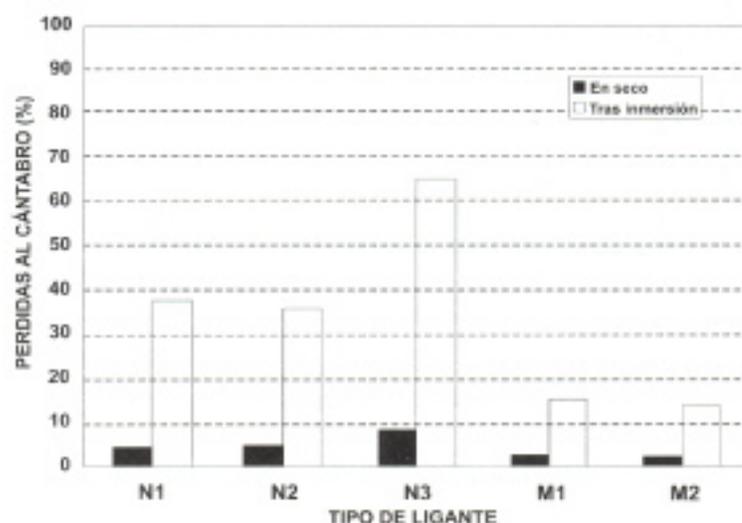


Tabla 4. Resultados de huecos en la mezcla

ARIDO	FILLER	PERDIDAS EN SECO (%)				PERDIDAS INMERSIÓN (%)			
		RELACIÓN FILLER/BETUN				RELACIÓN FILLER/BETUN			
		0	0.5	1	2	0	0.5	1	2
ARIDO	CEMENTO	37	21	14	9	65	40	5	18
	CALIZA	37	25	15	10	65	33	27	13
	OFITA	37			10	65		22	21
ARIDO	CEMENTO	66	50	30	11	100	59	34	14
	CALIZA	66	36	22	10	100	100	100	38
	OFITA	66	45	27	12	100	100	100	38
ARIDO	CEMENTO		36	24	16		76	47	27
	CALIZA		35	26	18		83	81	42
	OFITA		37	23	15		99	87	57

Tabla 5. Resultados de pérdidas al Cántabro en seco y tras inmersión

bajas se obtienen para el árido calizo con un filler calizo.

Con áridos ofíticos y silíceos se obtienen los mejores resultados utilizando un filler de cemento, el cual mostró una marcada diferencia en comparación con los otros dos filleres estudiados, figuras 3 y 4.

Las pérdidas obtenidas para los tres áridos ensayados no pueden compararse entre sí teniendo en cuenta que las probetas elaboradas con ellos son muy diferentes. Aunque la granulometría del árido grueso se ha mantenido constante, las diferencias en la forma y la textura de las partículas de cada uno modificaron la compacidad obtenida, parámetro que influye

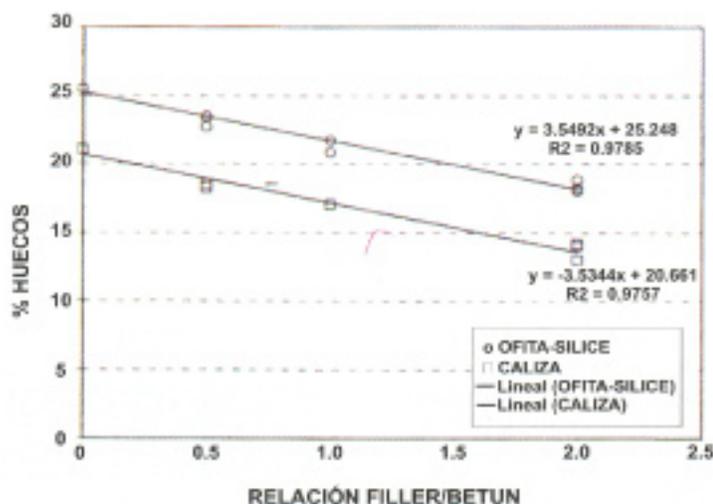


Figura 2. Porcentaje de huecos en función de la relación filler/betún

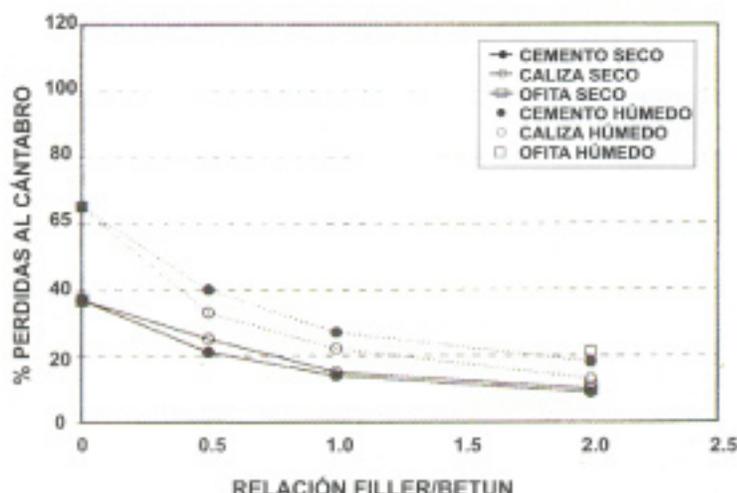


Figura 3. Pérdidas al Cántabro en condición seca en función de la relación filler/betún para la mezcla elaborada con árido calizo

notablemente en la resistencia al desgaste de la mezcla, cuanto mayor es la densidad, mayor es la resistencia al desgaste.

Las figuras 6, 7 y 8 presentan la relación entre huecos y pérdidas después de la inmersión, para cada tipo de árido y para 5% de contenido de ligante. Puede verse que existen dos zonas claramente definidas: una en la parte inferior donde los resultados correspondientes a las mezclas en las que el ligante, el árido y el filler utilizado son altamente compatibles, y la otra en la parte superior donde se encuentran los resultados para las mezclas con altas pérdidas. En este último caso el filler utilizado no resulta lo suficientemente beneficioso para mejorar la resistencia a la acción de desenvuelta del agua.

A partir de estos resultados puede derivarse un nuevo procedimiento para la

caracterización de filleres que nos permite tener en cuenta su naturaleza y la del árido y del ligante con que se hará la mezcla. El procedimiento consiste en fabricar probetas siguiendo los pasos aquí indicados y determinar su pérdida tras inmersión. La compatibilidad debería alcanzarse cuando las pérdidas tras inmersión se encuentren dentro de límites aceptables.

Hasta la fecha este ensayo se está aplicando sobre otro tipo de filleres, ligantes y áridos con objeto de verificar con más rigor la validez del procedimiento y de establecer con mayor precisión los límites de aceptación y rechazo, para los que se tiene en cuenta también la naturaleza y la penetración del ligante.

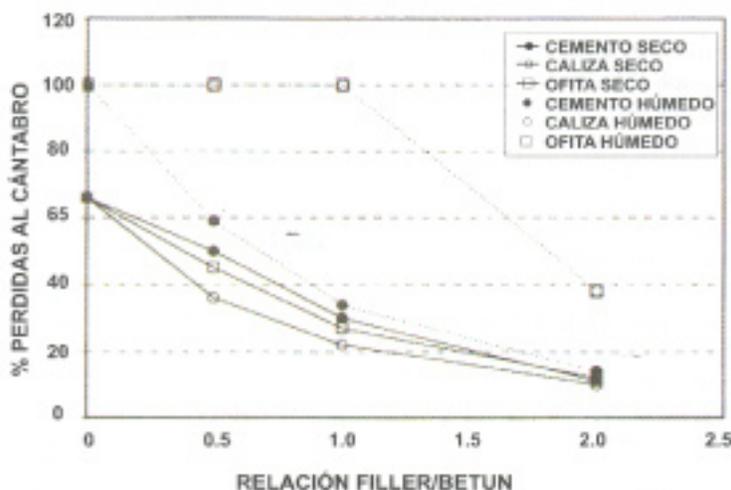


Figura 4. Pérdidas al Cántabro en función de la relación filler/betún para la mezcla elaborada con árido ofítico

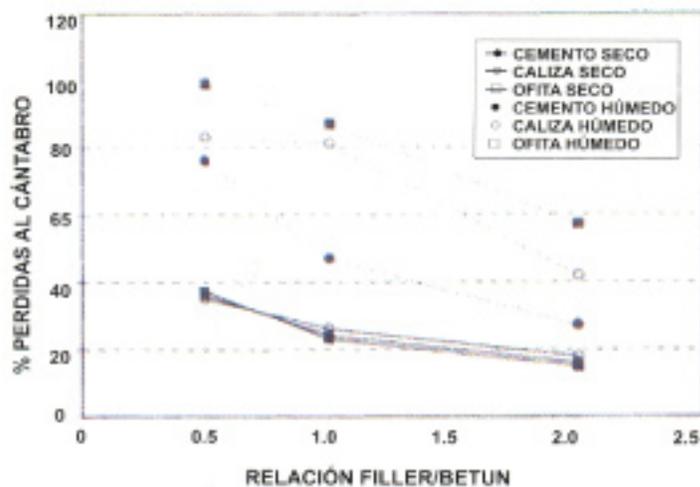


Figura 5. Pérdidas al Cántabro en función de la relación filler/betún para la mezcla elaborada con árido silíceo

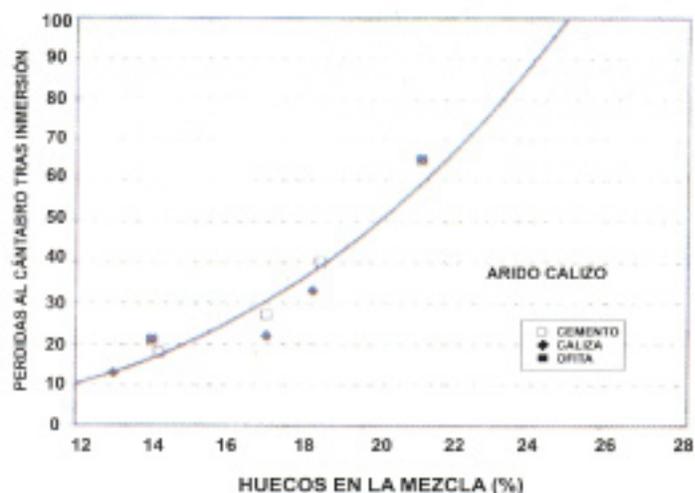


Figura 6. Relación entre los huecos y las pérdidas tras inmersión. Arido calizo

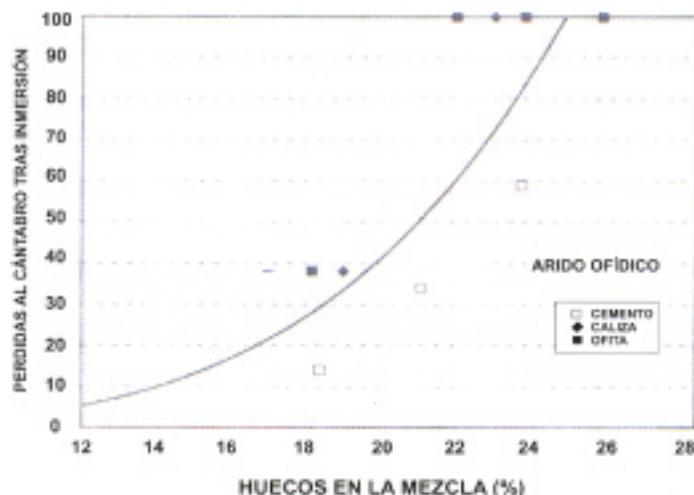


Figura 7. Relación entre los huecos y pérdidas al Cántabro tras inmersión. Arido ofítico

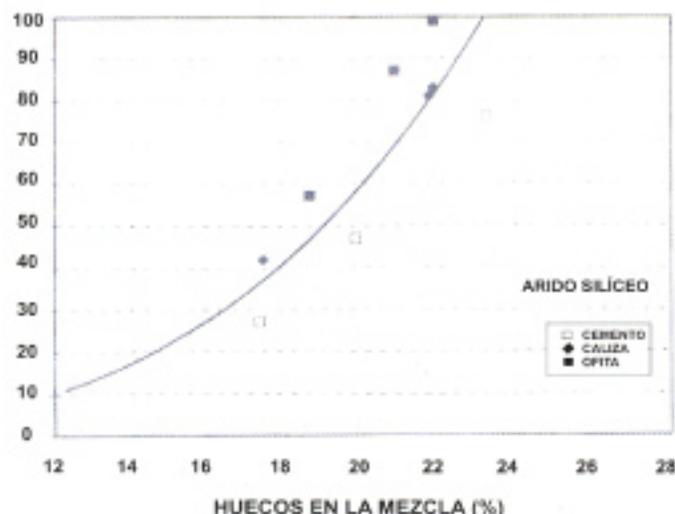


Figura 8. Relación entre los huecos y pérdidas al Cántabro tras inmersión. Arido silíceo

Conclusiones

El estudio desarrollado sobre la influencia de la naturaleza del filler sobre la adhesividad árido-ligante ha permitido demostrar que la naturaleza del filler puede tener efecto sobre la adhesividad árido-ligante. Además, este efecto no sólo depende del tipo de filler, sino que también de la naturaleza y tipo de ligante y árido ensayado, y puede ser evaluado mediante el empleo del método UCL y de ensayo Cántabro de pérdidas por desgaste.

Teniendo en cuenta la naturaleza de los materiales componentes de una mezcla, con este ensayo es posible conocer el tipo de filler más adecuado para la misma en función de su resistencia al desgaste.

Bibliografía

Miró, R. Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del ensayo Cántabro. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, 1994.

Pérez Jiménez, F. y Miró, R. Characterization procedure of asphalt binders with the Cántabro test. UCL Method. 5th Eurobitume Congress, volume IA. Stockholm, 1993.

Pérez Jiménez, F. y Miró, R. Caracterización de ligantes asfálticos. Método UCL. Carreteras, n° 73. Madrid, 1994.

Pérez Jiménez, F. y Miró, R. Caracterización mecánica de ligantes asfálticos. Método UCL. Rutas n° 48. Madrid, 1995.

Pérez Jiménez, F.; Miró, R.; Martín, T. y Des Croix, Ph. Ligantes bituminosos: Procedencia, composición, características y comportamiento. Carreteras, n° 88. Madrid, 1997.

Pérez Jiménez, F. y Miró, R. Caractérisation mécanique de liants asphaltiques: méthode UCL. Fifth International RILEM Symposium. Lyon, 1997.

Pérez Jiménez, F.; Miró, R.; Khalid, H. A. y Walsh, C.M. Procedimientos funcionales para la caracterización de ligantes. Métodos SHRP y UCL. Carreteras, n° 100. Madrid, 1998.