

**ENSAYOS DE MEZCLAS BITUMINOSAS.
CRITERIOS DE DISEÑO. NUEVAS PROPUESTAS**

**Félix Edmundo Pérez Jiménez
Catedrático de Caminos
Universitat Politècnica de Catalunya**

1. INTRODUCCIÓN

Sean estas primeras líneas para dar la bienvenida a Asefma, Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas, que durante estos últimos años se ha estado echando en falta en el ámbito de la construcción y, en particular, en el mundo de la carretera y de los pavimentos asfálticos. Desde hace tiempo existe este tipo de asociaciones en otros países europeos, formando parte de la EAPA (European Asphalt Pavement Association), y que como Asefma se preocupan de potenciar e impulsar el uso de las mezclas bituminosas y, también, como se recoge en el programa de presentación de esta jornada técnica, de "...crear un punto de encuentro que favorezca los intercambios de conocimiento y preocupaciones del sector".

Mi presencia en esta jornada puede ser debida a ésta última parte de la frase "preocupación del sector". Durante muchos años, yo creo que la mayor parte de mi vida profesional, me he estado ocupando de temas referentes al proyecto y construcción de firmes de carreteras, y con mayor dedicación, por ser el tipo de firme más usual en las zonas donde he trabajado, a los firmes asfálticos y a las mezclas bituminosas. Empecé en los años 70, tomando parte en los estudios que en aquellos momentos se realizaban en el Laboratorio de Caminos de la Escuela de Caminos de Madrid, sobre la resistencia a las deformaciones plásticas de las nuevas mezclas que había introducido el MOPU en el PG-3/75. En los años 80 participé y colaboré en el desarrollo de nuevos tipos de mezclas bituminosas para capas de rodadura más seguras y confortables: mezclas porosas y microaglomerados. Hubo que desarrollar nuevos métodos y ensayos para la caracterización de estas mezclas y, sobre todo, nuevos ligantes y aditivos más adecuados a las características y propiedades de estas mezclas. A finales de los años 80 se empezaron a introducir en España los ensayos dinámicos y se comenzó a estudiar el comportamiento de nuestras mezclas a fatiga. Durante estos últimos años se ha estado analizando esta propiedad de las mezclas bituminosas, lo que ha permitido optimizar la respuesta de nuestros firmes ante este mecanismo de deterioro.

Como consecuencia de estos estudios y para evitar el problema de deformaciones plásticas la tendencia inicial en los años 70 y 80 fue el uso de mezclas con poco contenido de betún, lo que ha sido causa de que el mecanismo más frecuente de fallo en los firmes asfálticos sea el fallo por fatiga y el rápido envejecimiento de las mezclas. Esto ha hecho que poco a poco se haya ido aumentando el betún en la mezcla y que de nuevo nos encontremos con los problemas de los años 70, las deformaciones plásticas.

He traído aquí este pequeño resumen sobre el desarrollo y la problemática de las mezclas bituminosas en estos últimos años en nuestro país para mostrar, en primer lugar, que si no tenemos memoria histórica y no tenemos presentes nuestros fallos anteriores, volveremos a cometerlos en el futuro.

En segundo lugar, quiero poner de manifiesto que las mezclas bituminosas son materiales excelentes para la construcción de firmes de carreteras, pero que dadas las características de nuestro clima, con temperaturas extremas y fuerte insolación, y las fuertes cargas del tráfico, su comportamiento puede ser crítico y se ha de estar siempre atentos para obtener buenos resultados.

Hasta hace unos años, esta memoria histórica a la que he hecho referencia, se iba formando y consolidando en los Laboratorios Regionales de Materiales del Ministerio de Obras Públicas. Sus técnicos eran los encargados de definir y estudiar las fórmulas de trabajo de las mezclas y de controlar los materiales y su ejecución. Tenían sus laboratorios a pie de planta y prácticamente conocían y controlaban directamente todas las mezclas que se fabricaban. Conocían también los áridos y ligantes que se empleaban y adoptaban las fórmulas de trabajo a sus características, evitando utilizar aquellos materiales o fórmulas de trabajo que les habían dado problemas. Al utilizar unas fórmulas y materiales avalados por la práctica, el control era relativamente sencillo, y se reducía a los ensayos de extracción y al control de las temperaturas de fabricación y de extendido y de densidad de los testigos.

Esta situación ha ido cambiando con el tiempo, los Laboratorios de Materiales han desaparecido o tienen competencias sobre muy pocas obras, y hay una mayor variedad de materiales, especialmente ligantes y aditivos, para la fabricación de mezclas, que también presentan una mayor gama de tipologías (aglomerados continuos, discontinuos, microaglomerados, mezclas porosas, mezclas densas, etc). Todo esto lleva a la necesidad de caracterizar y controlar mejor estos materiales de acuerdo con sus propiedades mecánicas y funcionales, de forma que podamos asegurar siempre su calidad y optimizar sus propiedades. Para ello existen una serie de ensayos que nos permiten valorar las diferentes propiedades de las mezclas; en su aplicación tenemos que tener en cuenta, en primer lugar, cuales son las características y propiedades exigidas de una determinada mezcla de acuerdo con su función estructural o funcional en el firme y, segundo, cuales son los ensayos que debemos emplear en la valoración de esas propiedades. Esto nos lleva, en el caso de las mezclas empleadas en nuestro país, a distinguir tres tipos de mezclas:

- Hormigones asfálticos (mezclas G, S y D, artículo 542, PG-3/2004).
- Mezclas porosas (mezclas P, artículo 542, PG-3/2004).
- Microaglomerados (mezclas M y F, artículo 543, PG-3/2004).

Las mezclas porosas y los microaglomerados son empleados como capa de rodadura de los pavimentos asfálticos, pero en el caso de los hormigones asfálticos, éstos pueden ser empleados tanto en capa de rodadura como en las otras capas del firme (intermedia y base) y las propiedades y exigencias que les pediremos en uno y otro caso serán distintas. Para cada tipo de mezcla y de acuerdo con su uso, tanto en el PG-3 como en las normas europeas EN, se han introducido una serie de ensayos y prescripciones que expondremos y analizaremos a continuación.

2. HORMIGONES BITUMINOSOS

Hormigón bituminoso es la denominación que corresponde a las mezclas bituminosas tipo D, S y G del pliego español, según la normativa europea. Por hormigón bituminoso, “asphalt concrete”, se designa en la normativa europea prEN-13108-1 las mezclas bituminosas cuyas partículas minerales, de granulometría continua o discontinua, forman un esqueleto mineral. A este grupo corresponden las mezclas tipo S, D y G de nuestro pliego y conviene designarlas por este nombre para distinguirla de otras tipologías de mezclas a los que también hace referencia la normativa europea, como, por ejemplo, las mezclas porosas o las denominadas stone mastic asphalt (mezclas tipo M y F de nuestro pliego).

Los hormigones bituminosos pueden emplearse en los firmes bituminosos en la construcción de su pavimento (capas de rodadura e intermedia) y de su capa de base. En la construcción del pavimento suelen emplearse mezclas tipo D y S, mientras que en base es normal emplear mezclas tipo G o S. Las propiedades a exigir a estas mezclas variarían completamente según sea su uso y ubicación: capa de rodadura, intermedia o base.

2.1. Hormigones bituminosos para capas de rodadura

De la observación del comportamiento de los hormigones bituminosos empleados en España en capa de rodadura, mezclas tipo S y D del PG-3, se deduce que las propiedades que resultan más críticas en su comportamiento y las que normalmente originan su fallo son:

- Su resistencia a las deformaciones plásticas
- Su resistencia a la fisuración térmica y al envejecimiento
- Su resistencia a la acción del agua

Resistencia a las deformaciones plásticas

El fallo por deformaciones plásticas fue el problema más frecuente que tuvieron las mezclas en España, en los años 1960-70. En ese momento se estaban empleando en nuestro país los tipos de mezclas recomendados por el Instituto del Asfalto de E.E.U.U. Estas mezclas resultaron muy deformables debido, entre otras cosas, a que en nuestro país los vehículos pesados tienen una carga por eje, 13 t, mucho mayor que la permitida en E.E.U.U., 8.2 t. Esto llevó a la administración española al uso de un nuevo tipo de hormigones asfálticos, mezclas tipo D, S, G y A del artículo 542 del PG-3 del año 75 y a la propuesta de una metodología y unos criterios para el diseño de estas mezclas basadas en el ensayo Marshall y en la máquina de pista, que dio, en general, unos excelentes resultados respecto a este problema. Los fallos por deformaciones plásticas prácticamente desaparecieron de nuestras carreteras, aunque supuso, por el contrario, una pérdida de resistencia al envejecimiento y a la fatiga de las mezclas empleadas.

En estos últimos años han empezado de nuevo a aparecer los fallos por deformaciones plásticas, lo que puede ser debido a varias causas:

- Abandono, en parte, de la metodología desarrollada para el estudio de las mezclas bituminosas frente al problema de deformaciones plásticas. No hacer los ensayos de pista ni estudiar mediante este ensayo la susceptibilidad de las mezclas a las pequeñas variaciones en su composición, sobre todo, a las variaciones de ligante.
- Modificación de los husos granulométricos y prescripciones en la nueva redacción del artículo 542 del PG-3/2004. Quizás el empleo de filleres más finos, con mayor poder rellenable, o el cambio de los husos o alguna otra prescripción del pliego haya podido dar lugar a mezclas más cerradas.
- Entrada en el mercado español de otros tipos de betunes que los habitualmente empleados. Durante bastante tiempo los betunes españoles se han caracterizado por provenir de la destilación de crudos de base asfáltica, lo que daba lugar a betunes con alto contenido de asfaltenos, que son menos susceptibles y se comportan mejor ante el problema de las deformaciones plásticas. En la actualidad existen en el mercado español betunes procedentes de otros países y se destilan en España una mayor variedad de crudos, lo que da lugar a betunes, dentro de un mismo rango de penetración, de características muy diferentes.
- Aumento del contenido de betún en la mezcla con objeto de mejorar su resistencia al envejecimiento y a la fisuración térmica.

Entre los años 1999 y 2001 se llevó a cabo un estudio en España sobre el posible efecto del tipo de betún sobre la resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas y en él se llegó a unas conclusiones prácticas muy sencillas, recogidos de forma gráfica en las figuras 1 y 2, que ya habían sido puestas de manifiesto en estudios anteriores y que eran tenidos como norma de buena práctica en el diseño de nuestras mezclas:

- El contenido de huecos en mezclas debe ser mayor del 4%.
- La temperatura de anillo y bola del betún está muy relacionada con el comportamiento de la mezcla a deformaciones plásticas.

En la normativa europea se han establecido unos niveles de calidad referidos a las deformaciones en máquina de pista, tabla 1. El ensayo Marshall sólo se incluye para mezclas para aeropuertos. Por el contrario se introducen ensayos fundamentales, como el ensayo triaxial dinámico, en el control de las deformaciones plásticas. Antes de aplicar en España la normativa europea, sería conveniente conocer muy bien los procedimientos de ensayo recogidos en las normas EN y compararlos con los que hasta ahora venimos haciendo.

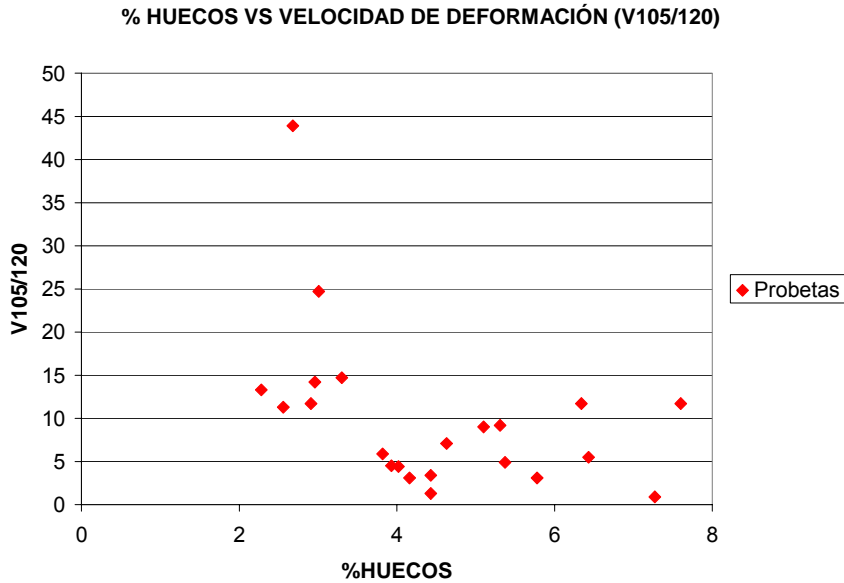


Figura 1. Relación entre el contenido de huecos de las mezclas ensayadas y su velocidad de deformación. (Foro de ligantes bituminosos).

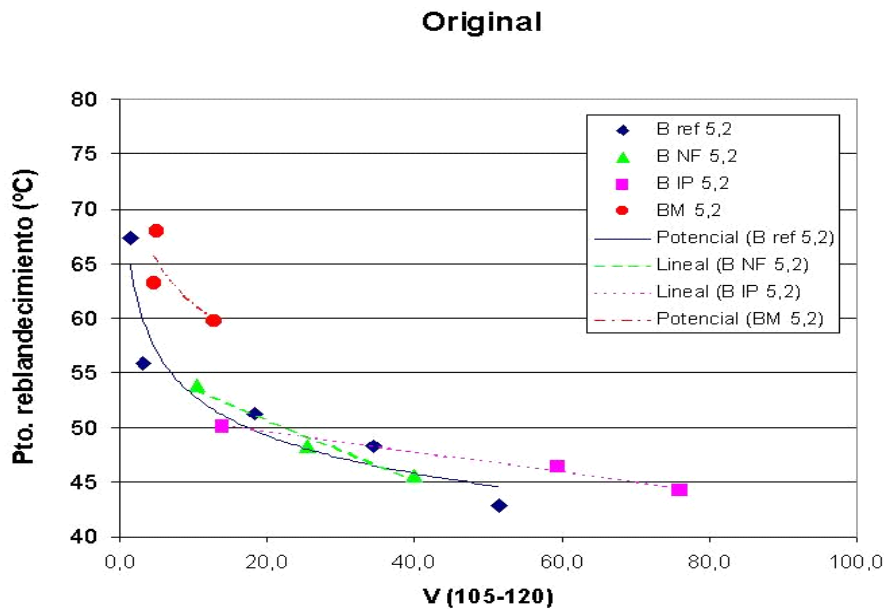


Figura 2. Relación entre la temperatura de reblandecimiento y la velocidad de deformación. (Foro de ligantes bituminosos).

- Resistance to permanent deformation, small size device procedure B, conditioning in air, maximum wheel tracking slope, WTS_{AIR}

Column	1	2
Line	Maximum wheel tracking slope mm per 10^3 load cycle	Category WTS_{AIR}
1	5,0	$WTS_{AIR5,0}$
2	7,5	$WTS_{AIR7,5}$
3	10,0	$WTS_{AIR10,0}$
4	12,5	$WTS_{AIR12,5}$
5	15,0	$WTS_{AIR15,0}$
6	17,5	$WTS_{AIR17,5}$
7	20,0	$WTS_{AIR20,0}$
8	No requirement	$WTS_{AIR NR}$

Tabla 1. Categorías o calidades de los hormigones asfálticos por su resistencia a las deformaciones plásticas (prEN-13108-1).

Resistencia a la fisuración térmica y al envejecimiento

El problema de la fisuración térmica parece, en principio, que no debería preocuparnos en el diseño de nuestros aglomerados bituminosos y nunca se ha tenido en cuenta hasta ahora. Pero hay dos cuestiones que deseo presentar y que pueden ser motivo de discusión en estas jornadas. La primera es el hecho de que al analizar alguna de las secciones de los firmes asfálticos de la Instrucción de Carreteras con el nuevo programa de diseño de la AASHTO 2002, que permite tener en cuenta las características de la mezcla en su diseño, se observa que esas secciones fallan por fisuración térmica, figura 3, cuando se comprueba su comportamiento en climas relativamente fríos, como puede ser Burgos o algunas zonas del norte de España, y se emplean betunes un poco duros, B 40/50. El otro motivo es la apreciación de que en nuestros firmes flexibles y en las capas de rodadura aparecen con frecuencia fisuras transversales que están relacionadas con este tipo de fallo. El empleo de betunes duros para evitar el problema de deformaciones plásticas puede dar lugar a este tipo de fallo, si no se estudia y dosifica adecuadamente la mezcla.

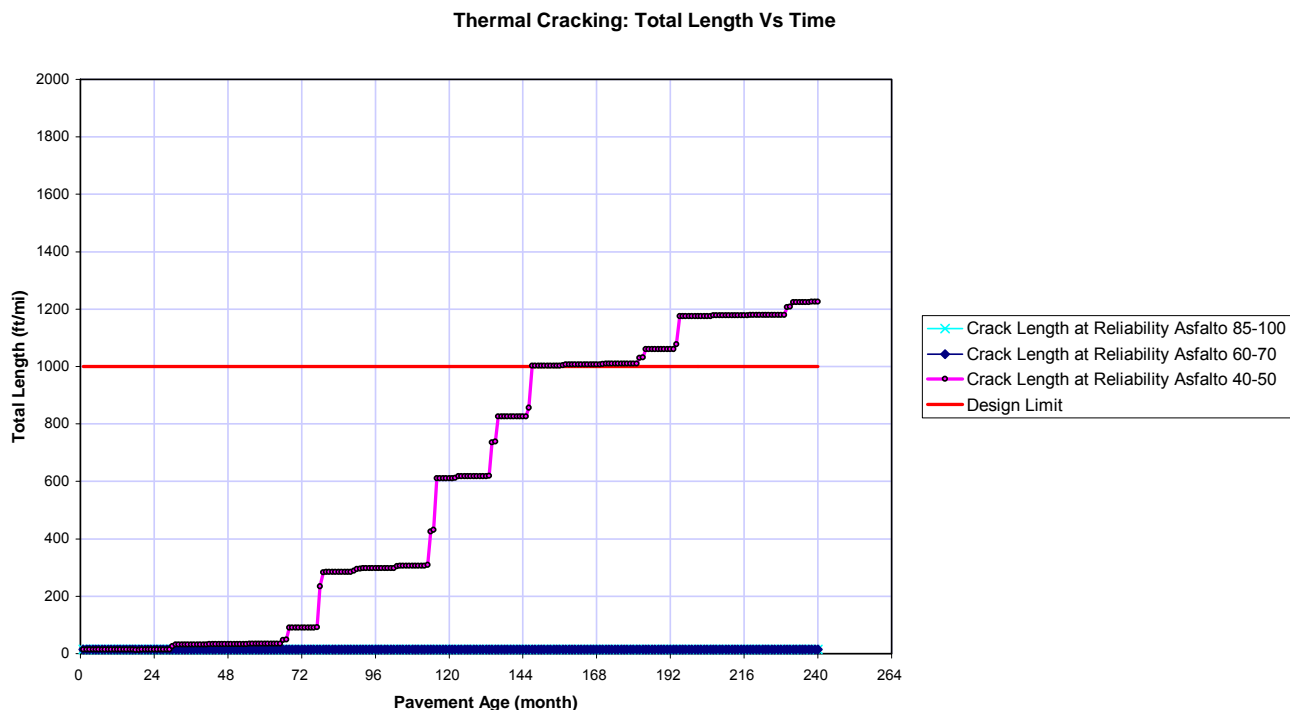


Figura 3. Efecto del tipo de betún en el fallo por fisuras térmicas. (AASHTO 2002).

Este tipo de fallo no lo tenemos en cuenta ahora en el diseño de nuestras mezclas bituminosas y tampoco aparece en las normas europeas, pero quizás deberíamos prestarle más atención, si además tenemos presente que nuestras mezclas están sometidas a fuertes insolaciones y esto lleva a su rápido envejecimiento.

El problema del envejecimiento del ligante en las mezclas puede afectar enormemente su resistencia a la fisuración térmica. Cuanto mayor sea el envejecimiento del ligante y menor sea su porcentaje en la mezcla, mayor será la probabilidad de tener problemas de fisuración térmica cuando el firme y la capa de rodadura se encuentra a una temperaturas bajas, inferiores a -5 o -10° C, como puede ocurrir en algunos puntos de España. Sin embargo, ni en nuestro pliego ni tampoco en la normativa europea se han recogido ensayos para controlar esta propiedad de las mezclas.

Resistencia a la acción del agua y del envejecimiento

El betún envuelve y se adhiere bien a los áridos cuando estos están secos, pero, en presencia de agua, alguno de los componentes minerales de la mezcla, áridos o filler, puede tener una mayor afinidad por el agua que por el betún, con lo que se produce un fenómeno de desenvuelta, quedando las partículas minerales recubiertas de agua en vez de la película de betún.

Esto da lugar a una pérdida importante de cohesión de la mezcla, lo que unido al fuerte efecto abrasivo del tráfico, puede producir el rápido levantamiento y disgregación de la capa de rodadura. Por ello, es muy importante controlar esta propiedad de las mezclas empleadas en la capa de rodadura. Tanto en el pliego español como en la normativa europea se establecen exigencias o criterios de calidad sobre las mezclas empleadas. En el caso del pliego español se sigue haciendo referencia al ensayo de inmersión-compresión, mientras que en la normativa europea, tabla 2, se aplica, el ensayo de tracción indirecta.

Column	1	2
Line	Minimum indirect tensile strength ratio %	Category <i>ITSR</i>
1	90	<i>ITSR</i> ₉₀
2	80	<i>ITSR</i> ₈₀
3	70	<i>ITSR</i> ₇₀
4	60	<i>ITSR</i> ₆₀
5	No requirement	<i>ITSR</i> _{NR}

Tabla 2. Categorías o calidades de los hormigones asfálticos por su resistencia a la acción del agua. (prEN-13108-1).

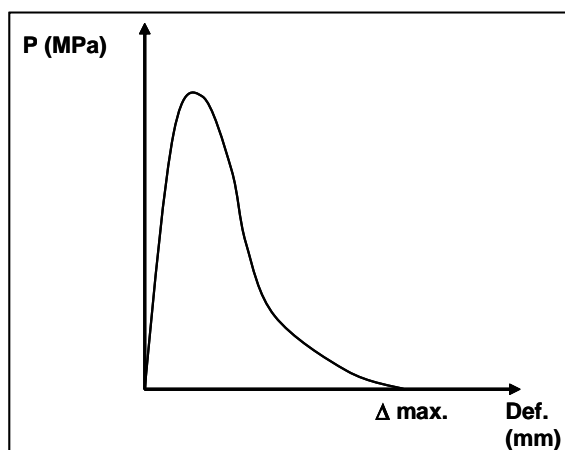
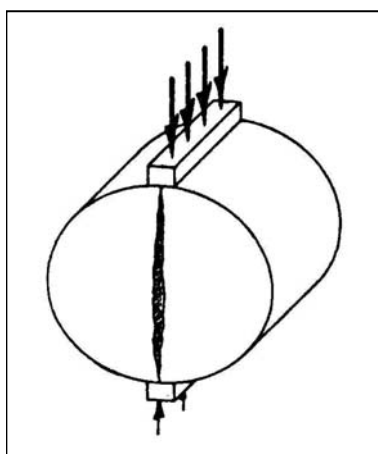


Figura 4. Ensayo de tracción indirecta

Este ensayo consiste en determinar la resistencia a la rotura por tracción de una probeta cilíndrica, cuando se le aplica una carga de compresión diametral, figura 4. La temperatura y velocidad del ensayo puede ser variable según la normativa seguida. En Cataluña se está realizando este ensayo a 5° C a la velocidad de 50,8 mm/min, y es aplicado sobre probetas y testigos con objeto de controlar esta propiedad de la mezcla. En la figura 5 se puede ver la variación de la resistencia de húmedo respecto a seco cuando se emplean para la fabricación de las mezclas bituminosas áridos de baja calidad (granito alterado) y filleres plásticos.

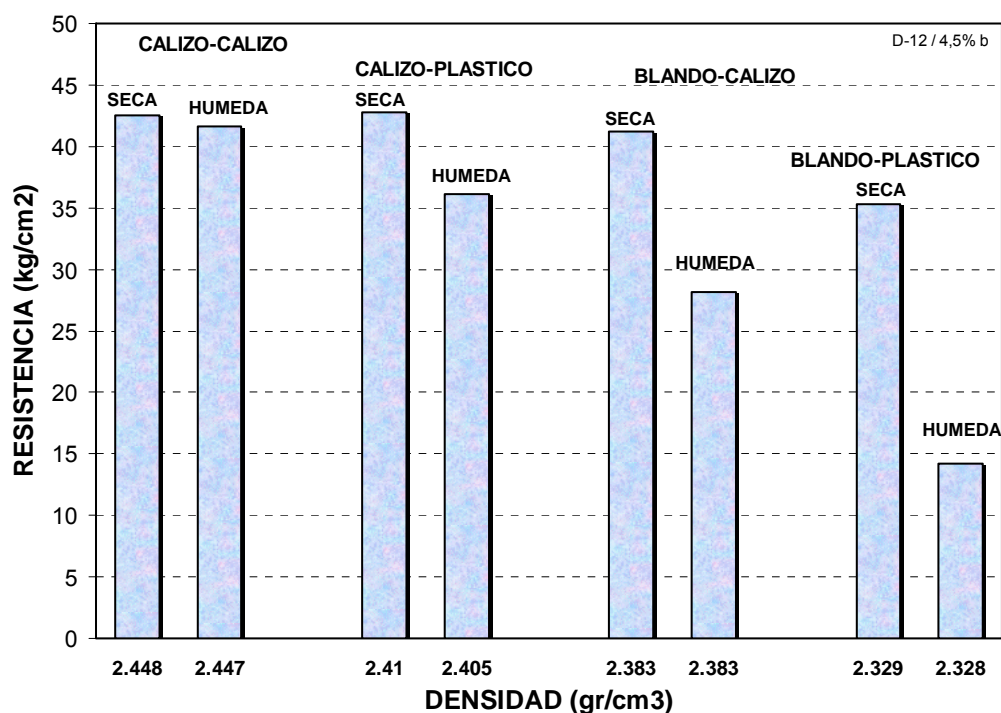


Figura 5. Efecto de la naturaleza y calidad de los componentes minerales de la mezcla en su resistencia a tracción indirecta. (Laboratorio de Caminos, Barcelona).

2.2. Hormigones bituminosos para capas de base

Las dos propiedades fundamentales que tienen que tener las mezclas empleadas en capas de base son: módulo y resistencia a la fisuración por fatiga. Cuanto más elevado sea el módulo de la mezcla empleada en la capa de base y mayor sea su resistencia a la fisuración por fatiga, mejor será la respuesta del firme ante el fallo de fatiga, que, según la experiencia y de acuerdo con los métodos analíticos de dimensionamiento, es el mecanismo de deterioro que causa el fallo de nuestros firmes. Sin embargo, cuando se selecciona o dosifica una mezcla para la capa de base, no se tienen en cuenta estas dos propiedades, y se dosifica la mezcla por el método Marshall, que lo único que tiene presente es su estabilidad.

Esto puede llevar al empleo de mezclas con muy poco contenido de ligante. Así, por ejemplo, las mezclas tipo G-20 pueden tener su óptima de estabilidad en el 3,25 – 3,75 % de betún sobre mezcla, mientras que los ensayos de fatiga ponen de manifiesto que cuanto mayor es el contenido de ligante y menor es el contenido de huecos, mejor es el comportamiento de fatiga de la mezcla; el porcentaje de betún, de acuerdo con esta propiedad, debería ser bastante más alto.

En la figura 6 se recogen los resultados del cálculo de la vida a fatiga de la sección de firme, 031, de la antigua Instrucción de Carreteras de 1990 para tres mezclas tipo A (abiertas del antiguo pliego PG-3/75), dos mezclas tipo S y una mezcla de alto módulo. El comportamiento de la sección es muy distinta según el tipo de mezcla empleada y puede resultar muy crítico cuando se emplean mezclas tipo A. Estas mezclas han desaparecido del Pliego, por su exceso de huecos y baja cohesión, pero estas diferencias se siguen manteniendo cuando se emplea una mezcla S y una G. Quizás debería tenerse en cuenta estas diferencias y cambiar incluso los espesores del firme cuando se emplea uno u otro tipo de mezcla.

En el caso de la normativa europea se dan diferentes categorías de hormigones asfálticos en función de su módulo de rigidez y de su comportamiento a fatiga, tablas 3 y 4. Al igual que ocurre con otros ensayos y especificaciones recogidos en las normas EN, será necesario un proceso largo para ajustar estas especificaciones a nuestra experiencia y tipología de mezclas. No se puede pedir sencillamente más módulo y al mismo tiempo una mejor ley de fatiga sin conocer de donde partimos y como se comportan nuestras mezclas frente a estas dos propiedades. En este sentido puede resultar muy provechoso el nuevo estudio que está realizando el Foro de Ligantes sobre el comportamiento a fatiga de nuestras mezclas bituminosas.

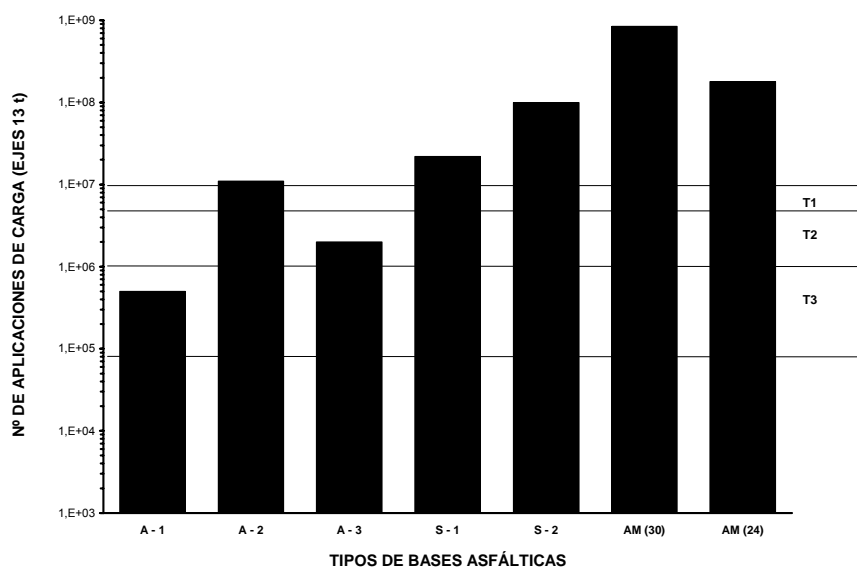


Figura 6. Efecto del tipo de mezcla en el comportamiento a fatiga del firme. (Laboratorio de Caminos, Barcelona).

Column	1	2
Line	Minimum stiffness MPa	Category S_{min}
1	21 000	$S_{min21\ 000}$
2	17 000	$S_{min17\ 000}$
3	14 000	$S_{min14\ 000}$
4	11 000	$S_{min11\ 000}$
5	9 000	$S_{min9\ 000}$
6	7 000	$S_{min7\ 000}$
7	5 500	$S_{min5\ 500}$
8	4 500	$S_{min4\ 500}$
9	3 600	$S_{min3\ 600}$
10	2 800	$S_{min2\ 800}$
11	2 200	$S_{min2\ 200}$
12	1 800	$S_{min1\ 800}$
13	1 500	$S_{min1\ 500}$
14	No requirement	S_{minNR}

Tabla 3. Categorías de los hormigones asfálticos por su módulo de rigidez.

Column	1	2
Line	Resistance to fatigue microstrain	Category ϵ_6
1	310	ϵ_6-310
2	260	ϵ_6-260
3	220	ϵ_6-220
4	190	ϵ_6-190
5	160	ϵ_6-160
6	130	ϵ_6-130
7	115	ϵ_6-115
8	100	ϵ_6-100
9	90	ϵ_6-90
10	80	ϵ_6-80
11	70	ϵ_6-70
12	60	ϵ_6-60
13	50	ϵ_6-50
14	No requirement	ϵ_6-NR

Tabla 4. Categorías o calidades de los hormigones asfálticos por su resistencia a la fatiga.

Otra propiedad que debe también tenerse en cuenta en el diseño de las mezclas para la capa de base es su resistencia a la acción del agua. Es muy probable que ésta se encuentre en la capa granular y se mueva con facilidad en la interfase de ambas capas. La presencia de agua junto a la gran cantidad de coque y falta de mástico que presentan las mezclas gruesas, tipo G-25, en la parte inferior de la capa debido probablemente a problemas de segregación durante su extendido, puede dar lugar a su rápida disgregación.

Aparte de sus propiedades, en el comportamiento mecánico de las mezclas para capa de base tiene una gran influencia su ejecución. Si por causa de una ejecución defectuosa no conseguimos que la mezcla alcance el módulo y la cohesión prevista, el comportamiento estructural del firme quedará seriamente afectado. En muchos países se empieza a controlar ya estas propiedades mecánicas en testigos extraídos de obra, comparando sus resultados con los valores que corresponden a esas propiedades de la mezcla, que han sido determinados previamente en el laboratorio.

La propiedad que se está midiendo en los testigos es su módulo resiliente, según la norma NLT-360 o empleando el equipo NAT, o la determinación de la resistencia a tracción indirecta de estas mezclas.

Desde hace varios años se viene aplicando en Catalunya un procedimiento desarrollado por el Laboratorio de Caminos de la UPC y aplicado por GISA en las obras de la Generalitat de Catalunya consistente en controlar la calidad de los aglomerados mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta a 5° C, siguiendo el procedimiento antes descrito. Los ensayos realizados en laboratorio muestran que la resistencia a tracción de la mezcla está relacionada con su módulo y que ambas bajan de forma espectacular cuando se reduce la temperatura de compactación o disminuye la compactación de la mezcla, figura 7.

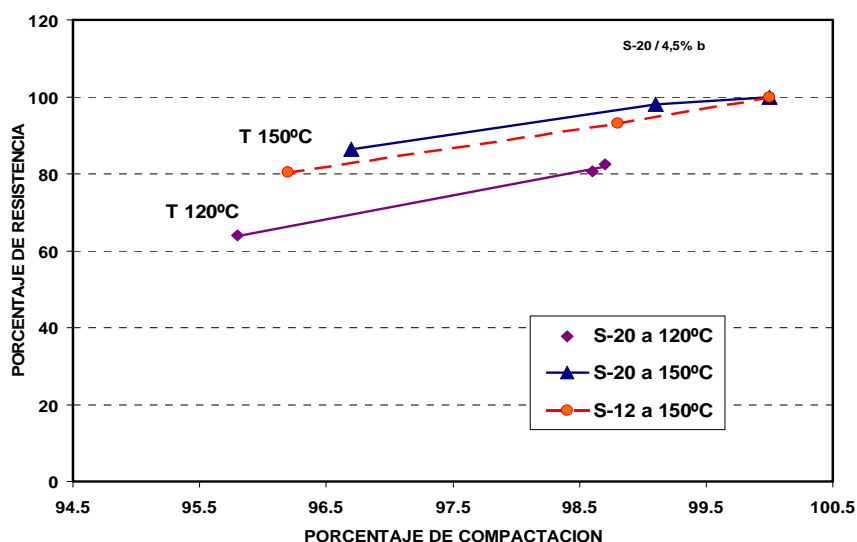


Figura 7. Influencia de la temperatura de compactación y la compactación alcanzada en la resistencia a tracción indirecta. (Laboratorio de Caminos, Barcelona).

Tras el seguimiento de una gran cantidad de obras en Cataluña, figura 8, se ha podido constatar que en la mayoría de las mezclas tipo S-20 fabricadas puede alcanzarse valores de resistencia a tracción indirecta en probetas superiores a 3,0 – 3,5 MPa. Si por una mala ejecución esta resistencia baja a 1,5 o 2,0 MPa, caso que a veces, aunque raramente ocurre, la vida del firme puede verse muy afectada, tal y como puede observarse en la figura 9. Es por tanto necesario controlar este parámetro de la mezcla y llevar a cabo su colocación de forma correcta para no afectar tan significativamente el comportamiento del firme.

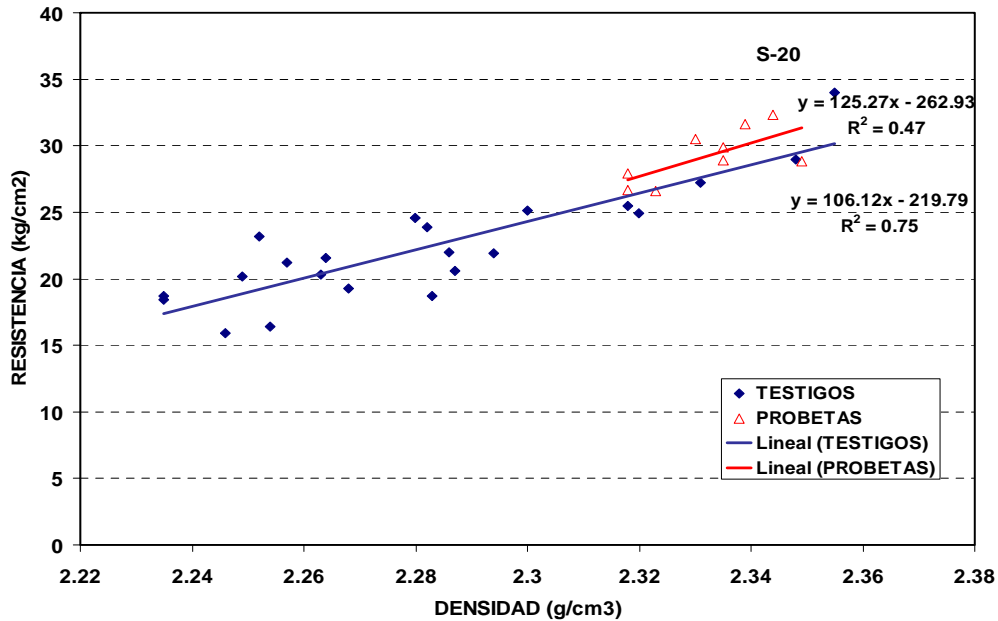


Figura 8. Relación entre la resistencia a tracción indirecta y su densidad en probetas y testigos de una misma mezcla tipo S-20. (Laboratorio de Caminos, Barcelona).

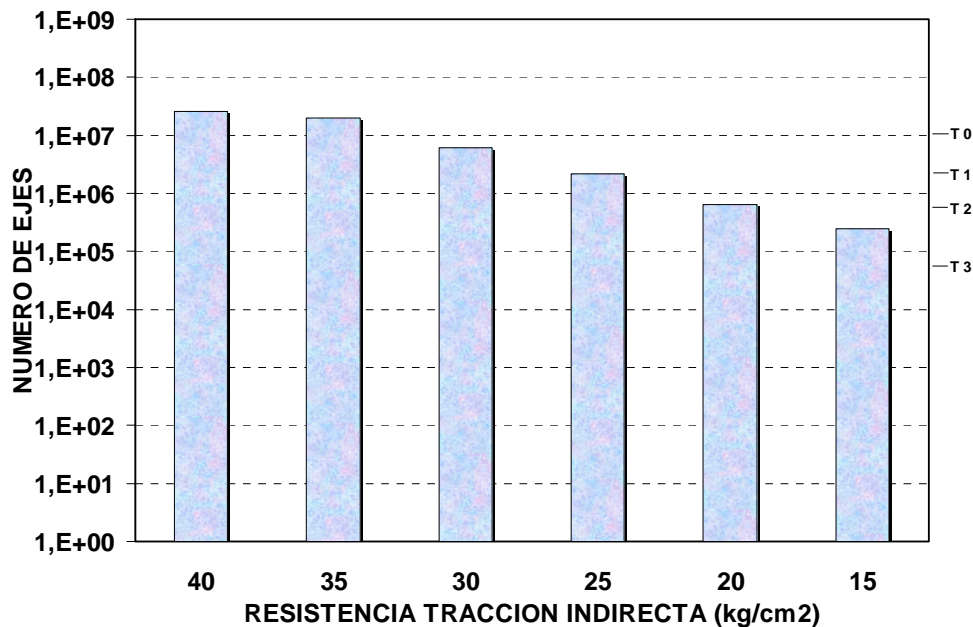


Figura 9. Variación de la vida o fatiga de un firme en función de su pérdida de módulo y resistencia a tracción.

Otro fallo constructivo que tiene una gran repercusión en el comportamiento mecánico de las capas asfálticas es la falta de adherencia en la construcción de las diferentes tongadas. En la figura 10 se puede observar como una sección de firme calculada para que aguante mas de 10^7 aplicaciones de carga, tráfico T0, puede fallar antes de 10^6 aplicaciones, tráfico T2, si no existe adherencia entre sus capas. El efecto de la adherencia entre capas tiene mayor repercusión si esta falta se produce entre las tongadas de base, pero también es muy importante la adherencia entre las capas superiores del firme, por estar sometidas a mayores esfuerzos abrasivos y por reducir los efectos de la fisuración térmica. Es frecuente observar que cuando se fisura la capa de rodadura, si ésta está mal adherida con la capa de abajo, se produce muy rápidamente su rotura y desintegración.

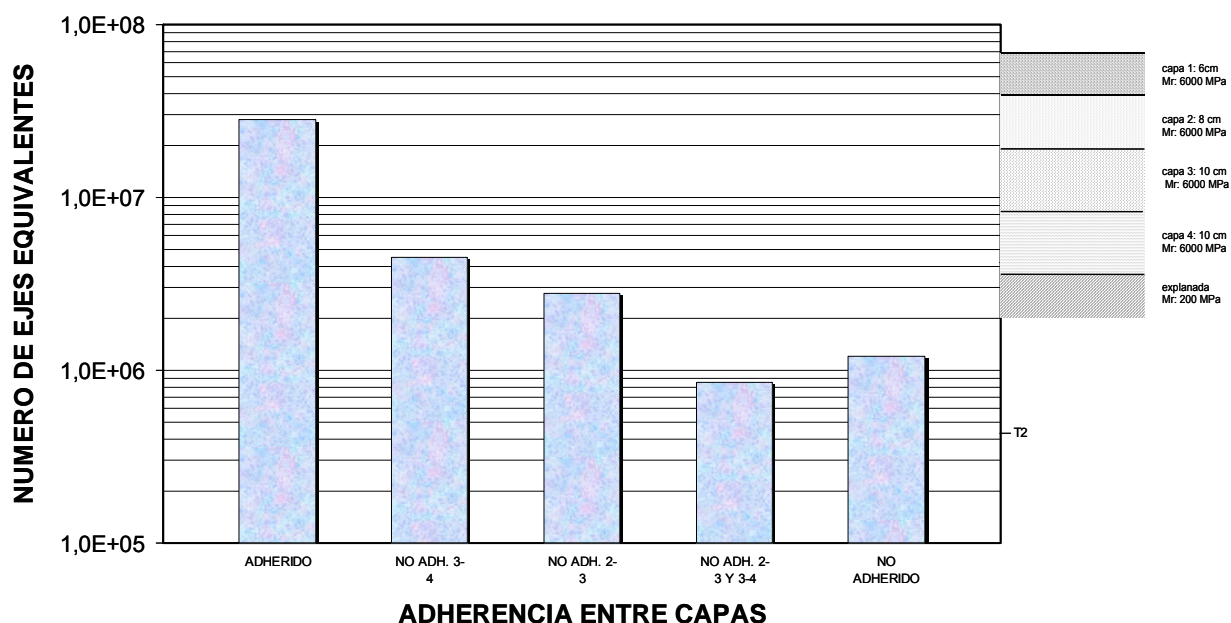


Figura 10. Efecto de la no adherencia entre las capas asfálticas en la vida a fatiga del firme.

La adherencia entre capas puede ser controlada por diferentes ensayos, entre ellos el que se ha puesto a punto en el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña que consiste en provocar un esfuerzo de corte en la zona de unión de las dos capas, ensayando el testigo como una viga, figura 11.

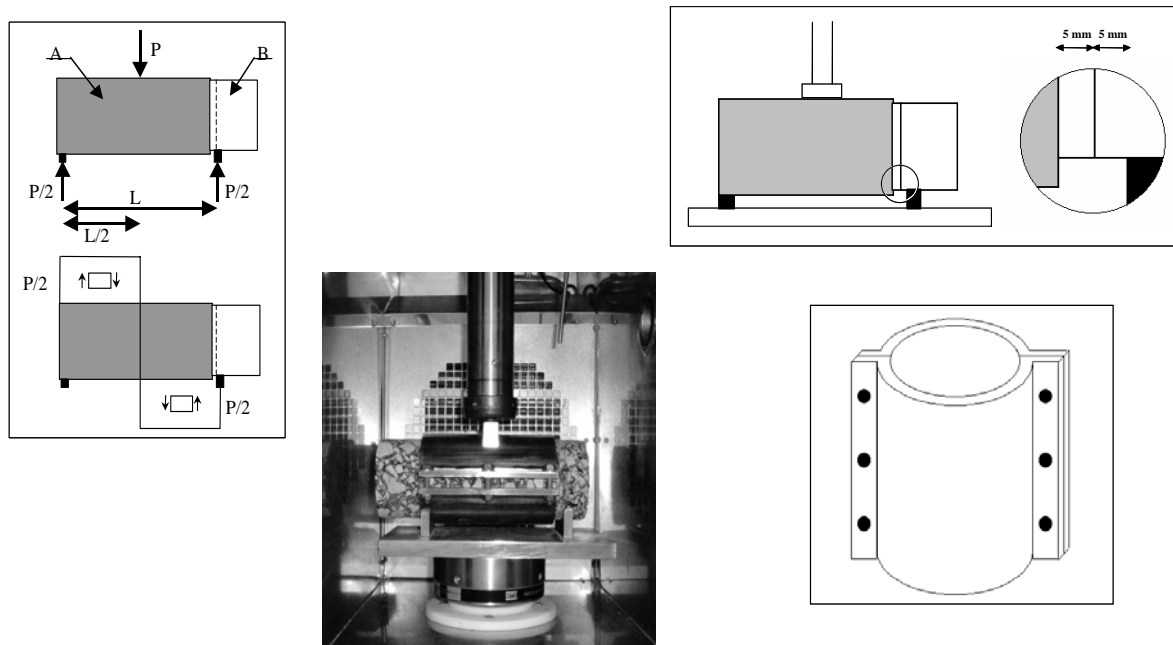


Figura 11. Ensayo de corte para evaluar la adherencia entre capas. (Laboratorio de Caminos, Barcelona).

En el análisis del comportamiento estructural de las capas de mezclas bituminosas del firme hay que tener también presente que la respuesta de estas capas viene en gran parte determinada por la calidad del soporte donde se apoyan. Si cuando se construye un firme nuevo no se controla la calidad de las capas inferiores, y éstas no alcanzan la capacidad soporte prevista, las capas de mezcla estarán sometidas a unas tensiones muy fuertes y se fisurarán rápidamente. Esto lleva a recomendar la ejecución de los ensayos de control antes mencionados, no sólo para asegurar la calidad de la mezcla, sino para defender también su calidad ante otros problemas constructivos que frecuentemente son achacados también a los aglomerados.

3. MEZCLAS POROSAS Y MICROAGLOMERADOS

Las mezclas porosas se comenzaron a emplear en Europa a finales de los años 1970, y España fue uno de los países pioneros en su empleo, habiéndose desarrollado en nuestro país uno de los procedimientos usados con mayor frecuencia en su diseño: el ensayo cántabro de pérdida por desgaste. También se diseñó un permeámetro, permeámetro LCS, con dos objetivos, controlar la densidad de la mezcla durante su ejecución y la evolución de su permeabilidad con el tiempo.

Los dos principales problemas de comportamiento que presentan las mezclas porosas son precisamente su resistencia a la disgregación por efecto de los esfuerzos tangenciales del tráfico, y la pérdida de porosidad con el tiempo al colmatarse sus poros. Mediante el empleo de betunes modificados puede conseguir mezclas dotadas de alta porosidad, resistentes a la colmatación y a la disgregación. En la normativa española y europea se sigue manteniendo el ensayo cántabro de pérdida por desgaste, tablas 5 y 6, que en la normativa española es utilizado también para evaluar su resistencia a la acción del agua, mientras que en la europea, para medir esta propiedad tan importante en estas mezclas, se acude al ensayo de tracción indirecta (resistencia conservada).

Column	1	2
Line	Maximum particle loss %	Category PL
1	10	PL ₁₀
2	15	PL ₁₅
3	20	PL ₂₀
4	30	PL ₃₀
5	40	PL ₄₀
5	50	PL ₅₀
7	No requirement	PL _{NR}

Tabla 5. Categorías o calidades de las mezclas porosas por su resistencia a la disgregación.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Número de golpes por capa	50
Pérdida por abrasión en seco (%)	≤ 20 (T00 a T1) ≤ 25 (Resto)
Huecos en mezcla (%)	≥ 20
Pérdida por abrasión en húmedo (%)	≤ 35 (T00 a T1) ≤ 40 (Resto)

Tabla 6. Especificación para mezclas tipo M. (artículo 543 PG-3).

Las mezclas porosas fueron ampliamente empleadas en toda España, incluso en climas áridos, con el fin de mejorar la calidad de rodadura. Con el transcurso del tiempo pudo observarse que en climas de baja pluviosidad, donde no se producía un efecto natural de limpieza por la lluvia y el tráfico, las mezclas terminaban colmatándose. Además, estas mezclas no eran capaces de resistir muy bien los esfuerzos abrasivos del tráfico cuando éstos eran excesivamente fuertes como ocurría en las zonas de aparcamiento o en curvas de radio pequeño.

Esto llevó al desarrollo de los microaglomerados (mezclas M y F, artículo 543 PG-3 o mezclas tipo stone mastic asphalt según la EN 13108-5), mezclas que presentan un esqueleto mineral similar al de los aglomerados porosos, pero donde se han rellenado estos poros con una mayor cantidad de ligante bituminoso. El empleo en su fabricación de ligantes modificados o el uso de fibras especiales evita el problema de escurrimiento de ligante o de deformaciones plásticas.

En el caso de la normativa española se distinguen entre mezclas M, con un mayor porcentaje de huecos, un esqueleto mineral más rígido y menos deformables, que se diseñan y caracterizan mediante el ensayo cántabro, y las mezclas tipo F, más cerradas y con un mayor contenido de betún, que se diseñan y caracterizan con el ensayo Marshall y el ensayo de la máquina de pista. En el caso de la normativa europea, no se hace referencia en la caracterización de estas mezclas a la resistencia al desgaste, identificándose más esta tipología de mezclas europeas con las mezclas tipo F de nuestro pliego.

Una propiedad por la que cada vez están más interesados los que aplican estas mezclas en la construcción y conservación de firmes de carreteras y en la pavimentación de vías urbanas es la resistencia de estas mezclas a fisurarse. Estas mezclas se colocan muy frecuentemente sobre pavimentos fisurados, que presentan movimientos horizontales por esfuerzos térmicos. Los microaglomerados pueden presentar ciertas ventajas sobre los aglomerados convencionales para absorber estos movimientos sin fisurarse. Esta propiedad puede ser puesta de manifiesto mediante la aplicación de ensayos de tracción, como el ensayo BTB, figura 12, desarrollado en el Laboratorio de Caminos de Barcelona. Mediante este ensayo puede ponerse claramente de manifiesto que estas mezclas resultan mucho más tenaces y deformables que los hormigones asfálticos convencionales (mezcla tipo D) y que esta tenacidad y deformabilidad aumenta cuando se emplean aditivos (fibras especiales) o betunes modificados.

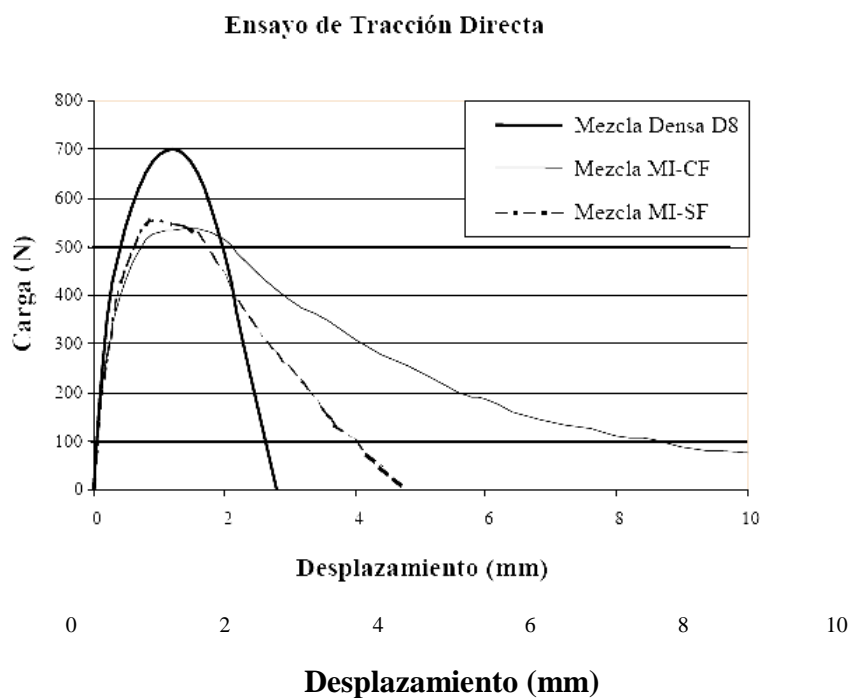


Figura 12. Efecto del tipo de mezcla y de los aditivos en la tenacidad y deformación a la rotura (Ensayo BTB). (Laboratorio de Caminos, Barcelona).

El comportamiento que están teniendo los microaglomerados es excelente. Únicamente se debe de estar pendiente de evitar problemas de deformaciones plásticas, o de una rápida pérdida de textura por exceso de ligante o deformabilidad de la mezcla.

4. CONCLUSIONES

De este breve repaso sobre el comportamiento de nuestras mezclas y de los ensayos y propiedades que debemos tener en cuenta en su diseño pueden extraerse unas ciertas conclusiones que presento como posibles temas de discusión para el coloquio que vamos a tener a continuación:

- Las mezclas bituminosas son materiales excelentes para la construcción de firmes de carreteras, pero que dadas las características de nuestro clima, con temperaturas extremas y fuerte insolación, y las fuertes cargas del tráfico, su comportamiento puede ser crítico y se ha de estar siempre atentos para obtener buenos resultados.
- Los ensayos nos permiten asegurar y controlar la calidad de las mezclas. En su aplicación hemos de tener en cuenta, en primer lugar, las propiedades que debemos evaluar y controlar en una mezcla de acuerdo con su función estructural y funcional en el firme, y, en segundo lugar, seleccionar y aplicar los ensayos con ellos relacionados.
- El empleo de los ensayos de control permitirán también defender la calidad del producto frente a terceros.
- Parece conveniente profundizar sobre el comportamiento y clasificación de nuestras mezclas respecto a los nuevos ensayos y procedimientos incluidos en la normativa europea.
- La introducción de los ensayos funcionales en la caracterización y comportamiento de las mezclas bituminosas potenciará el desarrollo de nuevos y mejores productos, al mismo tiempo que dará una mayor libertad a los fabricantes sobre el proceso y materiales, valorándose más el producto final.

5. BIBLIOGRAFIA

- *Influencia de los betunes en las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Ministerio de Fomento. Madrid, 2002.
- *Firmes y pavimentos, Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)*. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento. Madrid, 2004.
- prEN 13108-1. *Bituminous mixtures – Material specifications – Part 1: Asphalt Concrete*.
- prEN 13108-5. *Bituminous mixtures – Material specifications – Part 5: Stone mastic*.
- prEN 13108-7. *Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous asphalt*.
- Pérez Jiménez, F; Miró Recasens, R. *Nuevos ensayos para la caracterización de ligantes y mezclas asfálticas*. Revista “Carreteras” nº 122, julio-agosto 2002.
- Pérez Jiménez, F; Borrás González, J. M.; Miró Recasens, R. *Ensayo de corte LCB para la medida de la adherencia entre las capas asfálticas*. 11º Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Lima (Perú), 11-16 de noviembre de 2001.
- Miró Recasens, R; Pérez Jiménez, F; Martínez, A. *Quality Specifications for Bituminous Mixtures using the Indirect Tensile Test*. Congreso Euroasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona, 20-22 de septiembre de 2000.