

Las mezclas SMA normalizadas en Europa, con experiencias en diferentes aplicaciones en el mundo

La aparición del Mercado CE y las normas armonizadas EN 13108, en las que se describen diferentes tipos de mezclas bituminosas incluyendo sus características, ha permitido en España el conocimiento y el interés por materiales que hasta el momento no era habitual emplear ni incorporar a los requerimientos dentro de las especificaciones para mezclas bituminosas. Este es el caso de las mezclas Stone Mastic Asphalt (SMA), un tipo de mezcla que no es nueva, ya que se conoce y aplica ampliamente en la mayoría de los países del norte, centro y este de Europa, además de otros continentes como América, Australia y Asia. Este tipo de mezclas destacan sobre todo por su mayor durabilidad con respecto a otros tipos de mezclas habitualmente utilizadas. Por ello, en este artículo se hace una descripción de sus características, así como una breve presentación de algunas aplicaciones realizadas en autopistas y autovías y otras vías como son aeropuertos, puertos y zonas urbanas.

Palabras clave: Durabilidad, especificaciones, vías principales, aeropuertos, zonas urbanas

The appearance of the CE marking and the harmonized standards (EN 13108), which describe different types of bituminous mixtures including their characteristics, has allowed in Spain the development of knowledge and interest in materials so far of not common use or incorporation into the requirements within specifications for bituminous mixtures. This is the case of SMA (Stone Mastic Asphalt) mixtures, a type of mixture not new and widely known in Northern, Central, and Eastern European countries, as well as widely used in other continents such as America, Australia and Asia. Such mixtures are particularly remarkable by its longer durability over other commonly used types of mixtures. This article presents a description of its characteristics, as well as a discussion of various applications like: highways, airports, urban areas.

Keywords: Durability, specifications, main routes, airports, urban areas

Lucía Miranda, lmirandaperez@gmail.com

Vocal de la revista Asfalto y Pavimentación

Santiago Lanchas, santiago.lanchas@jrsiberica.com

Ruy Núñez, ruy.nunez@jrsiberica.com

Rettenmaier Ibérica

1. Introducción

El desarrollo de la Normativa Europea de mezclas bituminosas, descrita en las normas EN 13108 y el Mercado CE, ha

permitido al sector y a los fabricantes de mezclas bituminosas no sólo establecer unos requerimientos a los procesos de diseño y fabricación, que permiten asegurar el proceso productivo, sino, además, abrir la posibilidad de ampliar el abanico de materiales que hasta el momento se están utilizando en España, siempre y cuando puedan aportar ventajas y mejoras estructurales, económicas, medioambientales, así como de confort y seguridad para el usuario.

Entre las mezclas que han sido normalizadas en Europa, y que se han adaptado y recogido a nivel nacional en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3), se encuentran las mezclas de hormigón bituminoso (AC), descritas en

Las mezclas SMA normalizadas en Europa, con experiencias en diferentes aplicaciones en el mundo



Figura 1: Aspecto de un neumático con clavos.

la norma EN 13108-1, que corresponden a las antiguamente denominadas mezclas tipo D, S y G; las mezclas BBTM, descritas en la norma EN 13108-2, que corresponden a las conocidas como M y F aplicadas para rodadura en capa fina; y, por último, las que se denominan Porous Asphalt (PA), descritas en la norma EN 13108-7, y que corresponden a las denominadas como mezclas drenantes, cuya característica principal es poseer un elevado porcentaje de huecos.

Entre otros tipos de mezclas bituminosas, también normalizadas, se encuentran las Stone Mastic Asphalt (SMA), descritas en la norma EN 13108-5, las Soft Asphalt (SA), descritas en la norma EN 13108-3, y las Hot Rolled Asphalt (HRA), descritas en la norma EN 13108-4. Todas ellas ampliamente utilizadas en diferentes países de Europa.

Con esta normativa, es posible conocer las características de cada uno de los tipos de mezclas y ver su posible adaptación a los requerimientos específicos de una zona o aplicación, lo que permitiría poder utilizar un tipo de mezcla que mejore las infraestructuras, teniendo en cuenta las condiciones más apropiadas para cada caso.

De las nuevas mezclas (las denominaremos con esta terminología para diferenciarlas de las habitualmente utilizadas en España), las SMA son las que más ventajas presentan y que mejor pueden adaptarse a las exigencias, tanto estructurales como meteorológicas de España, ya no sólo en su

comportamiento en uso, sino en las ventajas que proporcionan dentro de aspectos tanto económicos como medioambientales, así también en la seguridad y confort para los usuarios de la carretera. Por ello a lo largo de este artículo, se expone una descripción de las características de este tipo de mezclas así como ejemplos de aplicaciones.

Las mezclas SMA fueron desarrolladas hace más de 40 años en Alemania. En los inicios, se diseñaron para resistir la acción de los neumáticos con clavos, utilizados para poder circular en condiciones extremas de vialidad invernal, los cuales, una vez eliminado el hielo, producían daños sobre la capa del firme convencional, así como también roderas, siendo necesaria una actuación para la reparación del firme al finalizar la temporada invernal.

Posteriormente, se comprobó que estas mezclas SMA presentaban una mayor durabilidad que las convencionales aplicadas como capa de rodadura. Este hecho llevó a que fueran incluidas dentro de las especificaciones alemanas en el año 1984 (ZTV Asphalt-StB, 1984; Especificaciones y Guías Técnicas para la Construcción de Pavimentos Asfálticos), elaborada por el Departamento Federal de Transportes.

La característica principal que presentan las mezclas SMA, es, sobre todo, su mayor durabilidad, aspecto que ha traspasado las fronteras de Europa, llegando a la normalización en países de otros continentes, como América, Australia y Asia, adaptando en cada caso los requisitos, a las condiciones intrínsecas de cada país, pero respetando siempre la idea original en cuanto a la estructura y composición de estas mezclas.

2. Mezclas SMA en Europa

Las peculiaridades de las mezclas SMA en cuanto a durabilidad, resistencia al deslizamiento y mejoras en el ruido de rodadura hacen que sea un material ampliamente utilizado en todos los países de Europa, excepto Francia, Portugal y España. Su aplicación principal es como capa de rodadura, cuando los requerimientos de tráfico y estado del firme necesiten la aplicación de una mezcla bituminosa de altas prestaciones.

El interés que han suscitado las propiedades de las mezclas SMA se demuestra con su normalización a través de la norma Europea EN 13108-5, que permitirá ser una referencia para su adaptación y aplicación en los países que aún no disponen de unas especificaciones que contemplen las características de este tipo de mezclas.

Pero no sólo esta norma describe las propiedades de las mezclas SMA, sino que, además, diferentes países de Europa, como Alemania, Suecia, Italia, Austria, disponen de una normativa específica en la que se describen las características, no solo de las mezclas, sino de los materiales que la conforman (áridos, filler, ligante, fibras).

Toda esta documentación, así como las experiencias sobre el comportamiento de las mezclas SMA, ha sido y es utilizada por países de otros continentes para ser incorporadas dentro del catálogo de mezclas bituminosas a aplicar, tanto en las carreteras de tráfico elevado como en aeropuertos, e incluso en zonas urbanas, siendo sustitutas, en algunos casos, por otras mezclas de amplio uso, como por ejemplo las Superpave.

3. Experiencias y aplicaciones de las mezclas SMA en los EEUU

En los últimos años, el incremento de las cargas por eje, el incremento de la presión de los neumáticos y la disminución del área de contacto han provocado la presencia de un mayor número de deformaciones permanentes sobre el pavimento, como así se detecta en firmes construidos empleando mezclas bituminosas convencionales. Por esta razón, en 1990, en Estados Unidos, la American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO y la European Asphalt Study Tour introducen el empleo de las mezclas SMA en vías de tráfico pesado. Recientemente, además, ha resurgido un interés para el empleo de este tipo de mezclas en aeropuertos, por su mayor durabilidad, llegando incluso a la posibilidad de sustituir a las mezclas Superpave.

Desde 1991, han sido muchos los proyectos ejecutados empleando mezclas tipo SMA en vías de tráfico pesado en varios estados de Estados Unidos. Y es más, sobre estos proyectos se ha llevado a cabo un seguimiento del comportamiento de las mezclas a través del cual se ha llegado a una serie de conclusiones que han permitido ratificar las bondades que presentan, entre las que se encuentran su mayor durabilidad, resistencia al deslizamiento y reducción de costes.

En un estudio realizado por Brown (Brown, 1997) sobre las prestaciones de las mezclas SMA construidas entre los años 1991 y 1996 en Estados Unidos, después de 15 años, para un total de 100 pavimentos, localizados en 19 estados, se ha evaluado sobre la superficie la existencia de defectos relacionados con roderas, grietas, desmoronamientos y exudaciones. En las

conclusiones de este estudio, se muestra que las mezclas SMA son entre un 30 y un 40% más resistentes a la rodadura que sus homólogas mezclas densas en el 90% de los proyectos evaluados. De todos los defectos analizados para el caso de las roderas, presentaban una altura menor de 4 mm.

En cuanto a la comprobación de la presencia de fisuras, apenas sí se han detectado, concluyendo además que se observa una menor propagación de fisuras. En un cálculo realizado se ha comprobado que se produce un 19% menos de reflexión de fisuras que en mezclas tipo HMA. Además, este aspecto mejora con el empleo de ligantes modificados con polímeros.

En este estudio también se han detectado algunas zonas con exudaciones que pueden ser debidas a las elevadas temperaturas, a una inadecuada proporción de fibras adicionales o una mala dispersión de las mismas.

También se ha analizado el comportamiento a fatiga realizado a través de ensayos en el laboratorio, comprobando que mejora en torno a 3-5 veces frente a sus homólogas convencionales.

Los valores de deslizamiento indican que presentan un buen comportamiento una vez eliminada la capa de ligante inicial.

El análisis de ciclo de vida frente a una mezcla convencional Hot mix asphalt (HMA) muestra que, aunque el coste inicial de las mezclas SMA es aproximadamente un 15-20% mayor que las convencionales, los pavimentos presentan una mayor durabilidad, concluyendo que, en el cómputo global, el coste es más efectivo con el empleo de las mezclas SMA.

Como ejemplo, y tras cálculos realizados de presupuestos en Estados Unidos, se ha estimado que los pavimentos con mezcla SMA presentan un coste anual de 50,095 dólares frente a los 79,532 dólares de las mezclas convencionales HMA, tomando como criterio el cómputo total de la vida útil del firme, teniendo en cuenta el mantenimiento necesario a realizar en cada caso.

Una prueba de la durabilidad de las mezclas SMA se describe en la Figura 2, extraída de una publicación de la European Asphalt Pavement Association (EAPA). En ella se encuentra representado el tiempo, expresado en años de servicio, para carreteras de tráfico pesado, comparando diferentes tipos de mezclas bituminosas empleadas, como capa de rodadura. Aquí se muestra cómo las mezclas SMA destacan del resto con un tiempo de vida de servicio superior respecto a

Las mezclas SMA normalizadas en Europa, con experiencias en diferentes aplicaciones en el mundo

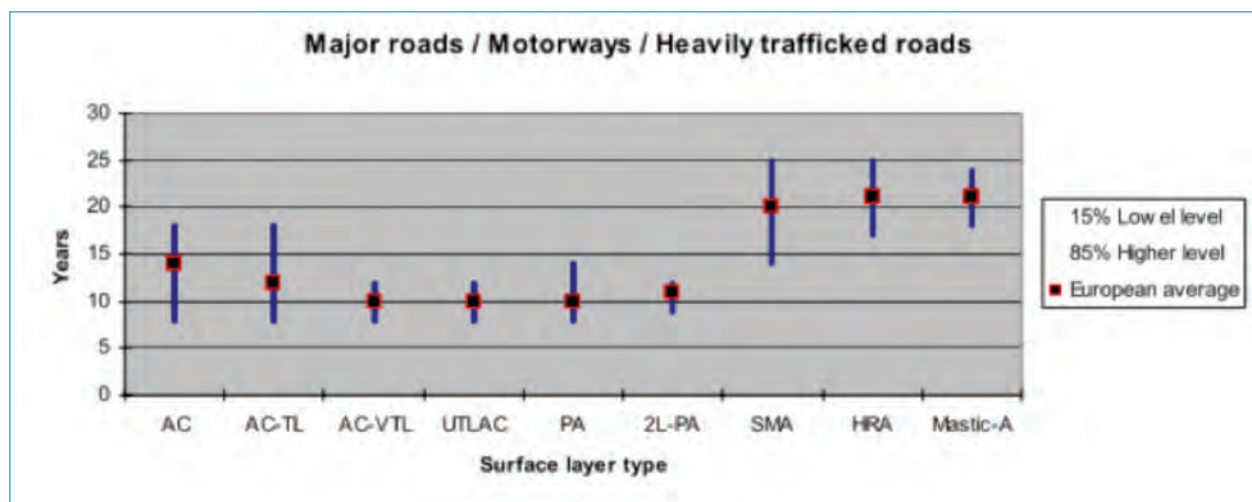


Figura 2: Representación de la durabilidad de diferentes mezclas bituminosas expresadas en años de servicio.
Fuente: "Long Lasting Pavement", EAPA

otros tipos de mezclas, lo que implica un ahorro económico por año de vida útil.

Respecto a la resistencia al deslizamiento, al inicio de la puesta en servicio de estas mezclas puede verse reducida hasta conseguir la eliminación superficial de la película de ligante. Sin embargo, se ha observado que, nada más puesta en obra la mezcla, eso sí, dependiendo del tamaño máximo del árido, los valores de macrotextura son más que aceptables. Por ejemplo, para un tamaño de árido de 12,5 mm, se han obtenido valores de macrotextura en un rango entre 0,6 y 1,29 mm y, para tamaños de árido de 4 mm, se han obtenido valores de 0,58 mm (Brown 2002).

Además, en estudios comparativos entre mezclas SMA y mezclas Superpave, se observa que una vez desaparecida la capa de ligante, se mantiene durante más tiempo la macrotextura y, con ello, una mayor resistencia al deslizamiento para el caso de la mezcla SMA con respecto a otras (Brown 2002).

3.1 Experiencias en aeropuertos y zonas urbanas

Además del empleo de mezclas SMA en vías de tráfico pesado, también existen en la bibliografía experiencias de su puesta en obra en firmes de aeropuertos, así como en zonas urbanas. Esta aplicación se ha extendido a diferentes países, como Australia y China, siendo habitual su empleo.

Las prestaciones exigidas en ambos casos son las mismas: buen esqueleto mineral, alto contenido de ligante y bajo contenido de huecos, así como el empleo de fibras de celulosa.

En el caso de los aeropuertos, donde se ha pavimentado con mezcla SMA en muchos países del mundo, incluida la práctica totalidad de los españoles, una de las ventajas clave para su empleo es su mayor durabilidad, lo que permite reducir las operaciones de mantenimiento en unas vías donde es complicada la realización de estas actividades.

Por otro lado, el empleo de estas mezclas en pavimentos urbanos, además de proporcionar una mayor durabilidad y resistencia a las roderas, en zonas donde hay mucho tráfico, se buscan propiedades como resistencia al deslizamiento y a la fatiga. Un ejemplo de esta aplicación, en la cual se ha realizado un estudio sobre el comportamiento de esta mezcla así como un estudio de análisis de ciclo de vida, ha sido su aplicación por parte del Municipality of Metropolitan Toronto Transportation Department en Lake Shore Boulevard en el año 1995 una de las arterias de más tráfico (Woodman et al, 1997). Después de dos años de servicio, el aspecto no presentaba deformaciones y mantenía una buena resistencia al deslizamiento.

Además de las ventajas económicas a lo largo del tiempo, las mezclas SMA presentan un interés medioambiental por la posibilidad de reducción de espesores.

También la prolongación de la vida útil permite una reducción en el consumo de materiales vírgenes, lo que contribuye a una disminución en la explotación de áridos vírgenes, así como en el consumo de combustibles fósiles y, por consiguiente, en la emisión de gases de efecto invernadero.

4. Características de las mezclas SMA

Los principios fundamentales del concepto de las SMA son: un esqueleto mineral de elevado rozamiento interno, un alto contenido de mástico rico en ligante y la presencia de un aditivo estabilizante –normalmente fibras–, que reparte y evita el escurrimiento del ligante.

Las características del esqueleto mineral se logran gracias al contacto árido-árido, generando un buen rozamiento interno, lo que proporciona una buena resistencia a las sollicitaciones de las cargas del tráfico y una elevada resistencia frente a la deformación plástica (resistencia a las roderas).

El esqueleto mineral lo proporciona una granulometría discontinua con un alto porcentaje de áridos gruesos (> 70%), lo que posibilita ese contacto directo árido-árido. Para conseguir esta estructura, es muy importante asegurar un tamaño uniforme de los áridos gruesos utilizados. Asimismo, se requiere un bajo porcentaje de la fracción fina del árido grueso.

Para hacer la mezcla impermeable, se rellenan los huecos de los áridos con un mástico de filler y ligante, que hacen que este tipo de mezclas presenten un contenido de huecos bajo, entorno al 4%.

Otra de las características de este tipo de mezclas corresponde a la incorporación de ligante, en el rango del 6-7,5% en masa del total de la mezcla. Éste forma una película gruesa y homogénea alrededor de los áridos y, para prevenir su escurrimiento, se adicionan fibras que pueden ser de celulosa o minerales.

En la Figura 3 se observa a la izquierda el aspecto de una mezcla SMA, en donde predomina el tamaño grueso y uniforme de los áridos y en los huecos el mástico de ligante y filler. La figura de la derecha corresponde al aspecto de una mezcla convencional formada por áridos de diferentes tama-

ños, no existiendo el contacto directo árido-árido entre el material grueso.

La composición característica de las mezclas SMA, en cuanto al esqueleto mineral y el contenido de ligante, proporciona propiedades, como:

- Estabilidad al paso del tráfico pesado e intenso
- Durabilidad por el elevado contenido de ligante, así como mayor cohesión de la mezcla
- Resistencia al deslizamiento, gracias a la macrotextura que queda en la superficie del firme proporcionada por la granulometría discontinua
- Mejoras en el confort para los usuarios por la reducción del ruido de rodadura por una macrotextura negativa proporcionada por el esqueleto mineral

Todos los requerimientos para estas mezclas se encuentran normalizados a través de la norma EN 13108-5, en donde se describen sus características. Además, la experiencia y las especificaciones solicitadas para este tipo de materiales en los países que usan de manera regular estas mezclas dan muestra de las condiciones y recomendaciones que se deben cumplir para asegurar las propiedades de las mismas.

4.1 Características de los áridos y su composición en las mezclas SMA

La granulometría de los áridos es una importante diferencia con respecto a otras mezclas habitualmente utilizadas. El tamaño máximo va en función del tipo de mezcla y varía desde los 4 mm hasta 22,4 mm, según se describe en la norma EN 13108-5.

Dado el esfuerzo ejercido en el contacto entre los áridos, las características exigidas a los mismos se basan prin-

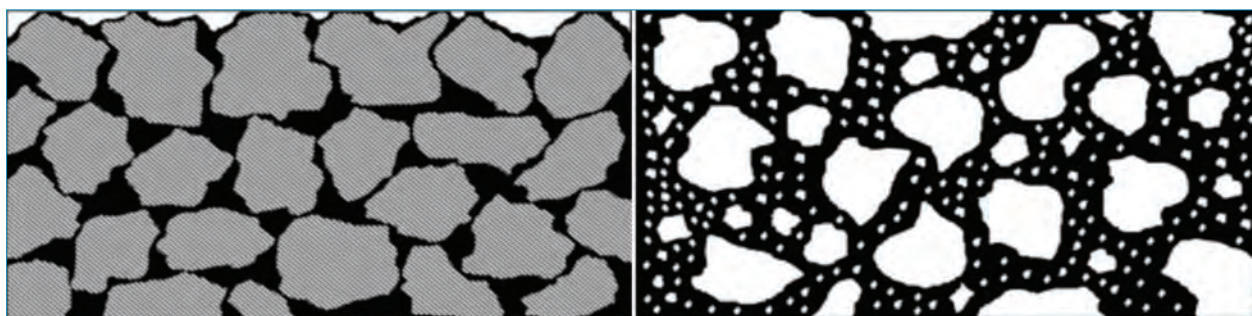


Figura 3: Esquema estructura de una mezcla SMA (izquierda) y de una mezcla convencional tipo AC (derecha).

Las mezclas SMA normalizadas en Europa, con experiencias en diferentes aplicaciones en el mundo

Tabla 1: Especificaciones para los áridos a emplear en las mezclas SMA en Alemania.

Tipo de mezcla	SMA 11 S	SMA 8 S	SMA 5 S	SMA 8 N	SMA 5 N
Requerimientos granulométricos	G _F 85 G _c 90/10 G _c 90/15				
Tolerancias del árido fino	G _T CNR				
Contenido de finos	Para 0/2: f ₁₆ Para 2/5 a 8/11: f ₂ Para 11/16 a 16/22: f ₁				
Coefficiente de forma	SI20 (FI20)				
Partículas trituradas/redondeadas	C100/0	C100/0	C100/0	C90/1	C90/1
Resistencia a la fragmentación	SZ18/LA20				
Pulimento acelerado	PSV ₅₁			PSV ₄₈	
Angularidad (coef. de flujo) 0,063/2	≥35				

principalmente en una buena resistencia a la fractura, determinada en la mayoría de los países con el ensayo de Los Ángeles, cuyo valor debe ser inferior a 20% de pérdida. En otros países utilizan como método el Schlagversuch Impact Test, como es el caso de Alemania, o el método de abrasión de los áridos en Suecia. También existen requisitos para valores de Coeficiente de Pulimento Acelerado (CPA) que deben ser elevados.

Otro de los aspectos que también se exige es la forma de los áridos, que deben ser cúbicos y con caras planas, con valores de partículas totalmente trituradas del 100%. En algunas publicaciones se han definido incluso las proporciones de las caras que lo conforman indicando que no más del 20% de los áridos deben exceder en las proporciones 3:1 (ancho y largo) en los tamaños. Se indica que valores diferentes pueden provocar problemas en el contacto entre los áridos, lo que se traduciría en un mal comportamiento frente a la compactación, que puede provocar la rotura del árido, alterando la estabilidad de la mezcla.

En cuanto a la fracción fina del árido, las especificaciones indican que solamente entre el 20-30% de los áridos pasan por el tamiz 4 mm y quedan retenidos en el tamiz 0,063 mm.

El filler en la mezcla está en una proporción entre el 8-13%. Tanto el tipo como su granulometría juegan un papel muy importante dentro de la composición de la mezcla, ya que, junto con el ligante y la fibra, forman parte del mástico que rellena los huecos en la mezcla.

Dado que este tipo de mezclas se desarrollaron en Alemania, puede servir como referencia conocer las especificaciones requeridas a los áridos para los diferentes tipos de

mezclas SMA que se encuentran normalizadas, tal como se describe en la Tabla 1.

4.2 Características del ligante y fibras y su composición en las mezclas SMA

En los inicios del desarrollo de las mezclas SMA se utilizaron betunes convencionales de penetración 70/100 o 160/220 (este último en Suecia y Noruega). A veces también, y en ciertos casos, se utilizaban polímeros adicionados directamente a la mezcla para mejorar sus características. En la actualidad, los betunes de penetración utilizados se encuentran dentro del rango de 30/45 hasta 330/430. El empleo de un tipo de ligante dependerá del tipo de clima o tráfico donde se vaya a emplear. También se emplean betunes modificados con polímeros, lo que le confiere una mejora en las prestaciones de la mezcla, sobre todo en cuanto a la susceptibilidad térmica, así como un buen comportamiento para tráficos elevados.

Los ligantes utilizados deben cumplir las características descritas en la norma EN 12591, para los betunes de penetración, y lo indicado en la norma EN 14023 para el caso de los betunes modificados.

Las proporciones de ligante empleadas en las mezclas SMA entre el 6 y el 7,5% permiten un buen comportamiento frente a la fisuración del firme, prolongando su vida de servicio.

Los aditivos utilizados en este tipo de mezclas pueden ser fibras minerales u orgánicas, que, adicionados a la mezcla, distribuyen el ligante e impiden su escurrimiento sin in-

terferir en sus propiedades. En la actualidad, los más empleados son las fibras de celulosa que, aunque en los inicios presentaban problemas para su dosificación, debido a su muy baja densidad, con el tiempo la industria ha mejorado la posibilidad de manejar este material en forma de gránulos envueltos en pequeñas cantidades de betún. Estas fibras son añadidas en un porcentaje mínimo del 0,3% sobre mezcla y debido a su elevada superficie específica, carácter fibroso y flexibilidad, crean una red tridimensional en la mezcla que permite depositar una película gruesa y homogénea de ligante rodeando al árido.

4.3 Diseño de las mezclas SMA

Uno de los aspectos importantes para que la mezcla SMA proporcione las propiedades esperadas es, sobre todo, conseguir que la combinación de todos los materiales sea la adecuada. Para ello, es fundamental un estudiado diseño de la mezcla y determinar las proporciones más adecuadas de cada uno de los materiales.

En los inicios de empleo de este tipo de mezclas, el diseño para conocer sus características se realizaba empleando el Método Marshall, a partir de probetas compactadas por impacto, aplicando 50 golpes por cara. Se determina así la proporción de ligante óptima para un contenido de huecos en un rango de 3 a 5%, dependiendo en cada caso del tipo de tráfico al que va a ser sometida la mezcla. A través de esta metodología de diseño, se determinan también las proporciones de filler para conseguir el ajuste de la curva granulométrica y la proporción de fibra de celulosa, que normalmente se encuentra en un rango entre 0,30-0,50%.

En la actualidad, para el diseño de las mezclas SMA, en la preparación de las probetas, se pueden emplear diferentes métodos de compactación, impacto o giratoria, según se describe en la norma EN 13108-20.

En la Tabla 2 se muestran los husos granulométricos de las mezclas que habitualmente se utilizan en Alemania.

En cuanto a las características que se evalúan sobre estas mezclas, y como se describe en la norma EN 13108-5, son el porcentaje de huecos, el contenido mínimo de ligante. Existen requerimientos para la evaluación del comportamiento frente a las deformaciones plásticas, para valores de categorías para el WTS, desde 0,03 hasta un máximo de 1,0, en el caso del dispositivo pequeño en aire, así como también se describen categorías para la susceptibilidad al agua.

Uno de los aspectos más importantes a determinar en este tipo de mezclas es la comprobación de un posible escurrimiento del ligante, determinado a partir del método Schellenberg, parámetro que permitirá asegurar la homogeneidad. Se definen valores de categoría entre 0,3 y 1,0%.

Como referencia, se describen a continuación las especificaciones para los diferentes tipos de mezclas SMA definidas y normalizadas en Alemania (Tabla 3).

4.4 Fabricación de mezclas SMA en planta

Las mezclas SMA pueden ser fabricadas en cualquier tipo de plantas en caliente, tanto continuas como discontinuas. Solamente será necesaria una adaptación para la incorporación de las fibras con un equipamiento que proporcione una adición controlada.

Tabla 2: Tipos de mezclas y husos granulométricos en Alemania.

Tipo de mezcla	SMA 11 S	SMA 8 S	SMA 5 S	SMA 8 N	SMA 5 N
Tamiz, mm					
16	100				
11,2	90 -100	100		100	
8	50-65	90-100	100	90-100	100
5,6	35-45	35-55	90-100	35-60	90-100
2	20-30	20-30	30-40	20-30	30-40
0,063	8-11	8-12	7-12	7-12	7-12

Las mezclas SMA normalizadas en Europa, con experiencias en diferentes aplicaciones en el mundo

Tabla 3: Especificaciones para las mezclas SMA en Alemania.

Tipo de mezcla	SMA 11 S	SMA 8 S	SMA 5 S	SMA 8 N	SMA 5 N
Tipo de ligante	PmB 45	PmB 45	PmB 65	50/70	50/70
Categoría	50/70	50/70	50/70 PMB45	70/100 PMB65	70/100
Contenido de ligante, %	B min6,6	B min7,2	B min7,4	B min7,2	B min7,4
Contenido de fibras	0,3-1,5				
Huecos en mezcla, %	Vmin3 Vmax4	Vmin3 Vmax4	Vmin2 Vmax4	Vmin2 Vmax4	Vmin2 Vmax4
Huecos rellenos	VFB max83	VFB max83	A indicar	A indicar	A indicar
Deformación plástica, PRD _{aire}	A indicar	A indicar	No requerido	No requerido	No requerido

En cuanto al proceso de fabricación, es importante definir una secuencia para la introducción de los diferentes componentes que forman la mezcla, destacando la secuencia y el tiempo de adición de las fibras para su adecuada incorporación. Éstas se introducen dentro del tambor mezclador junto con los áridos.

Además de los componentes ya mencionados para las mezclas SMA, se han llevado a cabo en EEUU pruebas de diseño y fabricación a escala real adicionando, material reciclado procedente de fresado, en diferentes proporciones utilizando, en algunos casos, un doble tambor para la incorporación del material en el caso de altas tasas.

4.5 Transporte, puesta en obra y compactación

El transporte de las mezclas SMA se realiza de la misma manera que para las mezclas convencionales, así como también la puesta en obra.

La compactación se realiza empleando compactadores metálicos operando en modo estático. Salvo en algún caso en donde sea necesario, se permite realizar una o dos pasadas finales del compactador con vibración. La compactación neumática no es adecuada por el alto contenido de ligante que puede quedar adherido a los neumáticos, así como para evitar eliminar la macrotextura característica de este tipo de mezclas.

La compactación se realiza hasta conseguir una densidad del 97% de la densidad de referencia obtenida.

5. Problemas potenciales que pueden presentar las mezclas tipo SMA

A partir de los numerosos estudios realizados en Estados Unidos tras importar la tecnología europea de las mezclas SMA,

conviene conocer los problemas que tuvieron en los primeros proyectos para evitar su repetición, y conseguir desde el principio el buen comportamiento de estas mezclas.

Cuando se empezaron a utilizar las SMA en Estados Unidos se observó que desviaciones de los requisitos establecidos por las especificaciones europeas, podían conducir a resultados no deseados, afectando al comportamiento final de la mezcla.

5.1 Áridos y granulometría de la mezcla

Como se ha indicado, para asegurar las buenas propiedades de las mezclas SMA, es fundamental disponer de un esqueleto mineral con unas características de máxima calidad, sobre todo en lo que respecta a la granulometría y a la dureza, así como en la forma de las partículas y en el tipo de árido fino.

En las especificaciones europeas se indica que los áridos deben proceder de machaqueo, las partículas deben ser totalmente trituradas, sin presencia de áridos redondeados. Sin embargo, en las especificaciones de Estados Unidos, estos requisitos eran más laxos, al permitirse la presencia de caras redondeadas, sobre todo en aquellas obras en donde era más costoso y difícil disponer de canteras de las que poder extraer árido triturado.

En cuanto al árido fino, que también debe proceder de material de machaqueo, en algunos casos se ha empleado arena sin triturar o poco triturada, afectando esto a la resistencia y rigidez de la mezcla y, con ello, a una menor durabilidad frente al tráfico.

Respecto al filler, es fundamental tanto el tipo como el tamaño. En cuanto al tamaño, si el filler es excesivamente

fino, puede ser encapsulado por el ligante impidiendo su colocación alrededor de la partícula gruesa del árido y desestabilizando la mezcla. Esta situación se observó en Estados Unidos en las primeras experiencias, en donde, por el tipo de planta, los finos no eran aspirados ni eliminados, sino que se incorporaban nuevamente a la mezcla, esto implicaba un aumento en el porcentaje de filler (pasa por el tamiz nº 200) con respecto al diseño inicial en el laboratorio, afectando al contenido de huecos, al contenido de ligante y, por consiguiente, al comportamiento final de la mezcla (Scherocman, James).

5.2 Sistema de mezclado

Las temperaturas de mezclado utilizadas en Estados Unidos, aunque inicialmente eran más bajas que las especificadas en Europa, sin embargo presentaban muchas variaciones en las temperaturas de fabricación, que, junto con una inadecuada dosificación de las fibras, provocaban la existencia de escurrimiento del ligante. Por otro lado, al no existir homogeneidad en la dosificación del ligante, provocaba que hubiera una reducción en la dosificación del mismo, dando lugar a problemas de corta durabilidad de la mezcla.

6. Experiencias en España con el empleo de mezclas SMA

Aunque, como se ha indicado, en España no existen especificaciones para las mezclas SMA dentro del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG3), no obstante existen experiencias destacadas en obras en las que se ha empleado este tipo de mezclas, entre las que se encuentran el Circuito Urbano de Fórmula 1 en Valencia, e incluso su aplicación en las pistas de aeropuertos como el de Barajas.

En la actualidad, se está llevando a cabo, dentro del sector, el estudio de las mezclas SMA que puede servir como referencia para una futura especificación. Un trabajo realizado dentro de un proyecto de I+D+i, financiado por el CDTI, titulado "Mezclas SMA de la familia de la norma UNE EN 13108-5 que sean sostenibles y medioambientalmente amigables", y en el que, además de definir una serie de mezclas, se pretende evaluar su comportamiento frente a propiedades como durabilidad, resistencia al deslizamiento, así como ruido de rodadura.

7.- Conclusiones

Los aspectos fundamentales que se esperan en la elección de una mezcla bituminosa para capa de rodadura, en vías principales de elevados tráficos, así como en pavimentos urbanos, es que cumplan una serie de requisitos funcionales, como son la durabilidad, la estabilidad, la resistencia al deslizamiento, el confort y la reducción del ruido, sin olvidar la posibilidad de que sean adecuadas para el drenaje del agua en la superficie.

Como se ha visto a lo largo del artículo en los ejemplos descritos, las propiedades funcionales que se requieren para una mezcla, es posible conseguirlas en muy alto grado con el empleo de mezclas SMA, las cuales, dada su larga vida demostrada por la experiencia, proporcionan una seguridad para su empleo y adaptación en aquellos países donde no se utilizan aún de manera regular, como es el caso de España.

Aprovechando la posibilidad que nos brinda la nueva normativa tras el Mercado CE, existe en España la oportunidad para poder profundizar en el estudio y conocimiento de estas mezclas utilizando los materiales y medios mecánicos disponibles para desarrollar unas especificaciones adaptadas dentro de la reglamentación existente.

8. Bibliografía

- Brown, E.R. et al. *Performance of Stone Matrix Asphalt (SMA) Mixtures in the United States*. In Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. Vol. 66, Salt Lake City, UT, 1997, Pag. 426-457.
- Brown, E.R. et al. *NCAT Test Track: Design, Construction and Performance, NCAT 02-12*. National Center for Asphalt Technology, 2002.
- Campbell C. 1999. *The use of Stone Mastic Asphalt on Aircraft pavements*. Final report, Deakin University, Melbourne, Australia.
- Drüschner Lothar, 2005. *Asphalt Guide*. Stone Mastic Asphalt.
- EAPA, 2007. *Sustainable roads - Long-Life Asphalt Pavements Version for "bankers"*.
- Jared D. Summary of Georgia's Experience with Stone Matrix Asphalt Mixes. Georgia Department of Transportation, Forrest Park, GA. 2003. www.dot.state.ga.us/dot/cons

Las mezclas SMA normalizadas en Europa, con experiencias en diferentes aplicaciones en el mundo

truction/materials-research/b-admin/research/r-rpts-online.shtml. Accessed January 10, 2007.

- Norma EN 13108-5. *Mezclas Bituminosas. Especificaciones de materiales*. Parte 5: Mezclas Bituminosas tipo SMA.
- NZ Transport Agency, 2010. Draft Specification for dense-grade, Stone Mastic and fine graded asphalt paving materials.
- Prowell Brian D, 2009. Evaluation of Stone Matrix Asphalt (SMA) for airfield pavements.
- Scherocman, James A. Construction of Stone Mastic Asphalt Test Sections in the U.S.
- Scherocman, James A. The design, construction and performance of Stone Mastic Asphalt Pavement Layers
- Watson, D. *Updated Review of Stone Matrix Asphalt and Superpave Projects*. Transportation Research Record 1832, 2003. Pag. 217-223.
- Woodman, Carl. 1997. *Stone Mastic Asphalt Technology for urban Pavements*. Paper for presentarion at the Road Construction, Rehabilitation and Maintenance Session of the 1997 XIIIth IRF World Meeting Toronto, Ontario, Canada.