

Mezclas de alto módulo y rodadura con SMA: Solución estructural y funcional en aeropuertos

Javier Loma Lozano,
javierloma@padecasa.com

Las especiales características del tráfico de aeronaves en los aeropuertos, con elevadas cargas y movimientos lentos en determinadas zonas del campo de vuelos, hacen necesario un diseño de pavimentos que combine la resistencia estructural con propiedades superficiales que mantengan la integridad de la rodadura en el tiempo, sin deformaciones inadmisibles y, según la utilización del área correspondiente, una adecuada resistencia al deslizamiento.

La alternativa a los paquetes de pavimento tradicionales son los construidos a partir de mezclas bituminosas fabricadas con ligantes de baja penetración, completando con una mezcla de rodadura con elevada flexibilidad y durabilidad.

En este Artículo se describe el proceso constructivo realizado por la empresa Padecasa en una obra adjudicada por Aena en el año 2017 "Renovación del pavimento en la calle M" en el aeropuerto Adolfo Suarez-Madrid/Barajas, con un pavimento formado por dos capas de mezcla de alto modulo, norma UNE EN 13108-1, fabricadas con ligante convencional de baja penetración 15/25 en la capa de base y betún modificado de baja penetración del tipo PMB 10-40/70 en la capa intermedia y una capa de rodadura con mezcla de granulometría discontinua y elevado contenido de ligante modificado PMB 45/80-65 y estabilizadores del tipo SMA11, norma UNE-EN 13108-5.

Palabras Clave: Alto módulo, características superficiales, refuerzo, SMA.

The especial features of airplanes traffic in airports with heavy loads and slow movements in certain areas of the flights field leads us to the need of a pavement design which should combine structural resistance with superficial properties. These properties must keep the integrity of the asphalt surface course, without unacceptable deformations and, according to the usage of the correspondent area, a suitable resistance to sliding.

The alternative to the traditional pavements packages are the ones built from bituminous mixtures made with low penetration binders, completing with a surface course mixture with high flexibility and durability.

This Article describes the construction process carried out by the company Padecasa in a project awarded by Aena in 2017 "Renovation of the pavement on M Street" at the Adolfo Suarez-Madrid / Barajas Airport, with a pavement consisting of two layers of high modulus mixture, standard UNE EN 13018-1, manufactured with conventional low penetration binder 15/25 in the base layer and modified low penetration bitumen type PMB 10-40/70 in the intermediate layer and a surface with mixture of discontinuous granulometry and high content of modified binder PMB 45 / 80-65 and stabilizers of type SMA11, standard UNE-EN 13108-5.

Keywords: High modulus, surface characteristics, reinforcement, SMA

Mezclas de alto módulo y rodadura con SMA: Solución estructural y funcional en aeropuertos

1. INTRODUCCIÓN

El necesario estudio previo de los materiales componentes del pavimento en la zona objeto de la obra, tomando en consideración no sólo el estado superficial, sino muy especialmente el de las capas inferiores, para identificar deficiencias estructurales, llevó a proponer la solución que se presenta en este artículo.

Hay que tener en cuenta que, en determinados casos, las fisuras en la superficie son visibles cuando el material ha perdido el 70-80 % de su módulo de elasticidad, es decir, que el deterioro se produce antes de ser visible en superficie.

El agotamiento de la vida del pavimento generalmente es consecuencia de la pérdida de resistencia por fatiga de los materiales, o por el cambio de las condiciones previstas, como puede ser el incremento del tráfico en esa zona del campo de vuelos.

La adopción de la solución propuesta se llevó a cabo teniendo presentes la tipología del terreno de fundación, las características específicas de la obra, la climatología, y requerimientos de la zona, así como las exigencias del tráfico previsto para el tiempo de servicio definido.

No se olvidaron, por otra parte, los aspectos medioambientales y sostenibles, evaluando las distintas soluciones con una valoración técnico-económica, para reutilizar en lo posible los materiales extraídos de la propia obra.

Finalmente, hay que destacar las singularidades propias de una obra en un aeropuerto frente a las realizadas en las carreteras, especialmente en lo que se refiere al tiempo de ejecución, muchas veces sometido a ventanas de trabajo y a la necesidad de puesta en servicio de las zonas ocupadas por la obra a determinada hora para reanudar las operaciones de las aeronaves en plenas condiciones de seguridad, es decir, tener el aeropuerto inoperativo el menor tiempo posible.

2. SECCIONES DE PAVIMENTO

Se pueden emplear diferentes tipos de combinaciones en función de los materiales utilizados en su construcción: pavimentos rígidos con hormigón hidráulico, pavimentos semirrígidos con bases fabricadas con materiales hidráulicos y mezclas bituminosas, y pavimentos flexibles con mezclas bituminosas.

En carreteras se utilizan los criterios definidos en la Norma

6.1-IC de "Secciones de firme" ORDEN FOM/3460/2003, de 28 de noviembre de 2003 del Ministerio de Fomento (figura 1) donde se clasifican los distintos tipos de tráfico en función de los vehículos pesados/día.

TABLA 1.A. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T0 A T3				
CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T0	T1	T2	T3
ICDp (vehículos pesados/día)	≥ 4 000	≥ 4 000 ≥ 2 000	≥ 2 000 ≥ 800	≥ 800 ≥ 200

TABLA 1.B. CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 Y T4				
CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	T31	T32	T41	T42
ICDp (vehículos pesados/día)	≥ 200 ≥ 100	≥ 100 ≥ 50	≥ 50 ≥ 25	≥ 25

Figura 1. Tablas 1.A y 1.B de la Norma 6.1 I-C.

Según el tipo de explanada existente y el tráfico pesado definido, en la composición del firme se puede elegir una combinación de distintos materiales y espesores.

En aeropuertos se tienen en cuenta las secciones definidas en las Ordenes Circulares del Ministerio de Fomento realizando el cálculo de dimensionamiento con la metodología de diseño de la FAA (Federal Aviation Administration) de EEUU, empleando el software denominado FAARFIELD. En este método se tienen en cuenta la resistencia del terreno de fundación, los diferentes tipos de aeronaves correspondientes al aeropuerto en cuestión, el número de operaciones anuales de cada tipo de avión y peso de los mismos, así como el incremento anual estimado de las operaciones, calculando la máxima deformación horizontal de tracción (agotamiento estructural) en su capa inferior de las capas de mezclas bituminosas y la deformación vertical en la explanada.

En las obras de rehabilitación es habitual utilizar tipos de mezclas bituminosas convencionales (EN 13108-1 Asphalt Concrete, AC) con ligantes de penetración 50/70 o 35/50 y módulos de rigidez entre 5.000-7.000 MPa. En la reposición del pavimento con mezclas bituminosas, en las capas de base y en la capa intermedia se utilizan mezclas fabricadas con ligantes convencionales tipo AC (la mezcla denominada TIPO 5 correspondiente a la mezcla tipo AC22S) y en los últimos años también mezclas de alto módulo y en capa de rodadura se utilizan mezclas bituminosas TIPO 6 (AC16D) o discontinuas TIPO30 (BBTM11A).

En esta actuación se ha seleccionado un tipo de pavimento flexible con mezclas bituminosas para la capa de base y capa intermedia con elevado módulo de rigidez y buen comportamiento a fatiga, y en la rodadura una mezcla bituminosa con

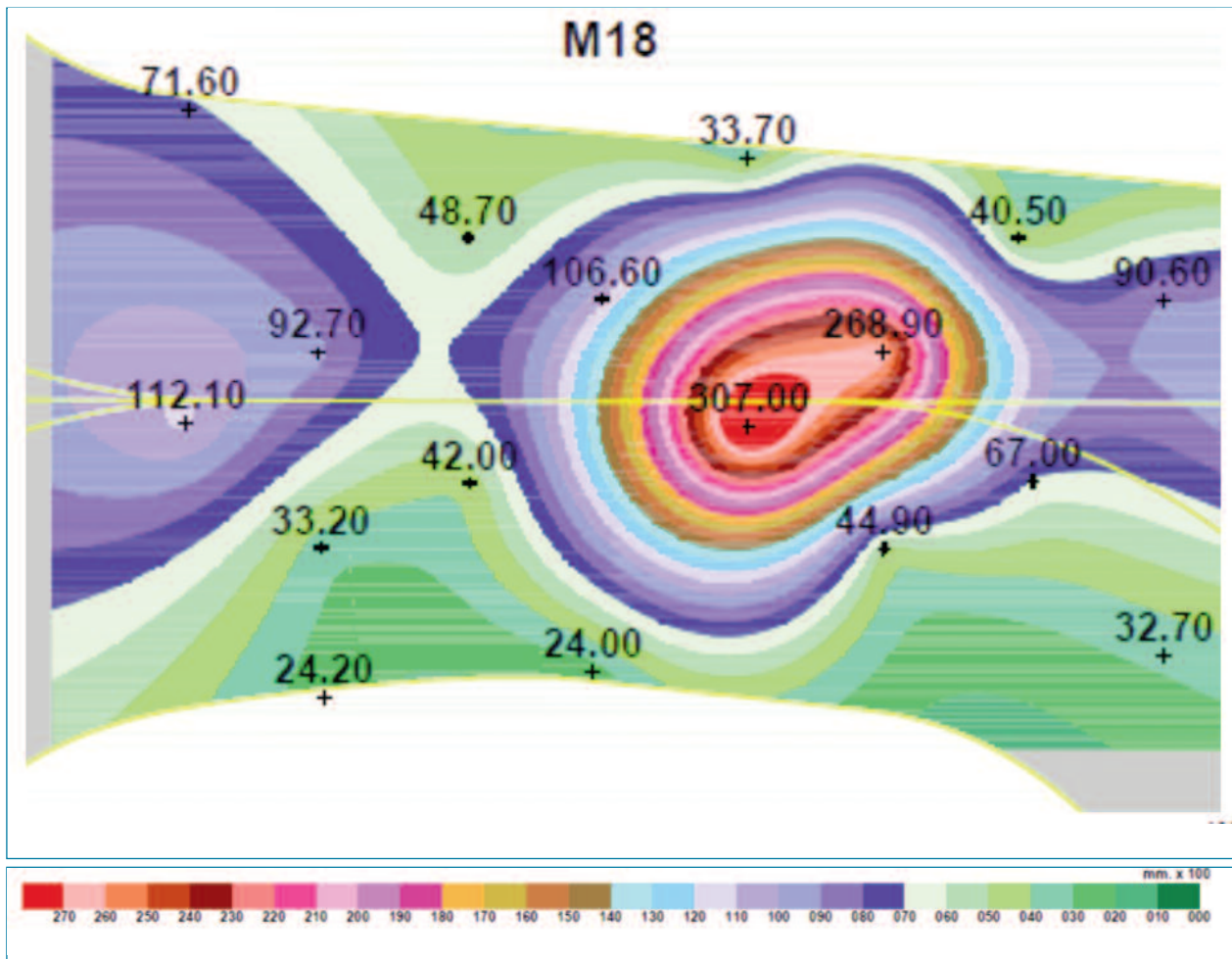


Figura 2. Imagen del mapa de isodeflexiones en la zona de obra anteriores a la actuación.

alta resistencia a la deformación.

La deflectometría efectuada en la zona antes de la actuación, representada en la figura número 2, es un factor a tener en cuenta para la mejor alternativa de rehabilitación.

El paquete aplicado fue el siguiente:

- 8 cm, MB para capa de base tipo AC-22 15/25 S MAM
- 8 cm, MB para capa intermedia tipo AC-22 PMB10/40-70 S MAM
- 4 cm, MB para capa de rodadura tipo SMA-11 PMB 45/80-65.

La unión entre las capas se efectuó aplicando un riego de adherencia con una emulsión bituminosa modificada termo-adherente del tipo C60BP3.

Las especificaciones de la mezcla de alto módulo, AC22S MAM, vienen recogidas en el Pliego general del Ministerio de Fomento (PG3) en su artículo 542 de hormigones bituminosos. Son mezclas con estructura granulométrica continua, tamaño máximo nominal (mínima abertura de tamiz UNE EN

933-2 por el que pase más del 90% en peso) de 22,4 milímetros, elevado contenido de polvo mineral (material que pasa el tamiz 0,063 milímetros) y coeficiente de riqueza de ligante. Se utilizan betunes de baja penetración (valores de penetración inferiores a 30), en algunos casos también betunes modificados con polímeros. Estos materiales aportan elevada resistencia a la tracción obteniendo valores de módulos de rigidez, realizado con el ensayo descrito en la norma UNE-EN 12697-24 en las condiciones de temperatura normalizada (20°C), superiores a 11.000 MPa. Los coeficientes de equivalencia asociados a este tipo de mezclas respecto a mezclas convencionales son de 1,25.

La incorporación de un elevado contenido de ligante aporta una mayor resistencia a la fatiga garantizando de este modo su comportamiento en el tiempo frente a las tensiones-deformaciones producidas por el tráfico.

Los requerimientos aplicables a la mezcla de rodadura tipo Stone Mastic Asphalt, aparecen recogidos en la norma UNE-

Mezclas de alto módulo y rodadura con SMA: Solución estructural y funcional en aeropuertos

EN 13108-5. Estas mezclas comienzan a desarrollarse en Alemania en torno a los años 1970 y se emplean como capa de rodadura, y en ocasiones también como capa intermedia, en numerosos pavimentos por todo el mundo. Son dosificadas con un alto contenido de ligante, generalmente modificado con polímeros y utilizando fibras de celulosa como aditivos estabilizadores, aumentando la resistencia a la fatiga y obteniendo un mayor tiempo de vida útil en el pavimento. Presentan excelentes características superficiales con alta macrotextura por la utilización de curvas granulométricas discontinuas en los tamices intermedios (4 y 2 milímetros), asegurando la ausencia del efecto de aquaplaning y una buena resistencia al deslizamiento.

Recientemente, el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, ha publicado la Orden Circular OC 3/2019 sobre mezclas bituminosas tipo SMA (Artículo 544 del PG-3).

3. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

La obra consistió en la renovación del pavimento en una superficie de 25.000 m², mediante la retirada por fresado del material defectuoso (20 centímetros) y sustitución por tres capas de mezclas bituminosas. La situación de la obra y características específicas de la vía requirió una planificación para la ejecución de la obra en 2 fases distintas.

Cada una de las fases comprende las siguientes actuaciones:

1. Operaciones de desconexión de transformadores, demolición de cajas y retirada de cableado.
2. Fresado y retirada del material de mezclas bituminosas (20 centímetros).
3. Preparación de la superficie mediante el barrido y riego

de adherencia.

4. Aplicación de la capa de base, nivelación con cable
5. Aplicación de la capa intermedia.
6. Aplicación de la capa de rodadura.
7. Operaciones de rozado, cableado y montaje de cajas de luces con tecnología LED.
8. Instalación de señalización vertical y pintura.

La ejecución de los trabajos de asfaltado se realizó en jornadas de 24 horas y doble turno de personal, tanto en los equipos de extendido y las plantas de fabricación de mezclas.

4. MEZCLAS BITUMINOSAS

En los dos tipos de mezclas de alto modulo MAM se utiliza la misma composición de áridos, para el huso granulométrico AC22S MAM, cambiando únicamente el tipo de ligante en función de su posterior colocación en el firme, ya sea para base o para intermedia. Los áridos utilizados son gravas trituradas de naturaleza sílicea con desgaste de Los Ángeles inferior a 25% y polvo mineral de aportación de naturaleza caliza.

En la mezcla de rodadura tipo Stone Mastic Asphalt, SMA11, se emplea un árido duro con bajo desgaste de Los Ángeles (LA<15) y buena resistencia al deslizamiento, con áridos de granulometría discontinua entre los tamices 2 y 4 milímetros, un ligante modificado con polímeros y aditivos estabilizadores del ligante (fibras).

Mezcla de base e intermedia tipo MAM.

En la composición de las mezclas de alto módulo se utilizan áridos de naturaleza sílicea, polvo mineral de aporte calizo y ligantes de baja penetración, uno de ellos modificado con polímeros. La curva granulométrica compuesta de los áridos.

El porcentaje de betún empleado para esta mezcla es del

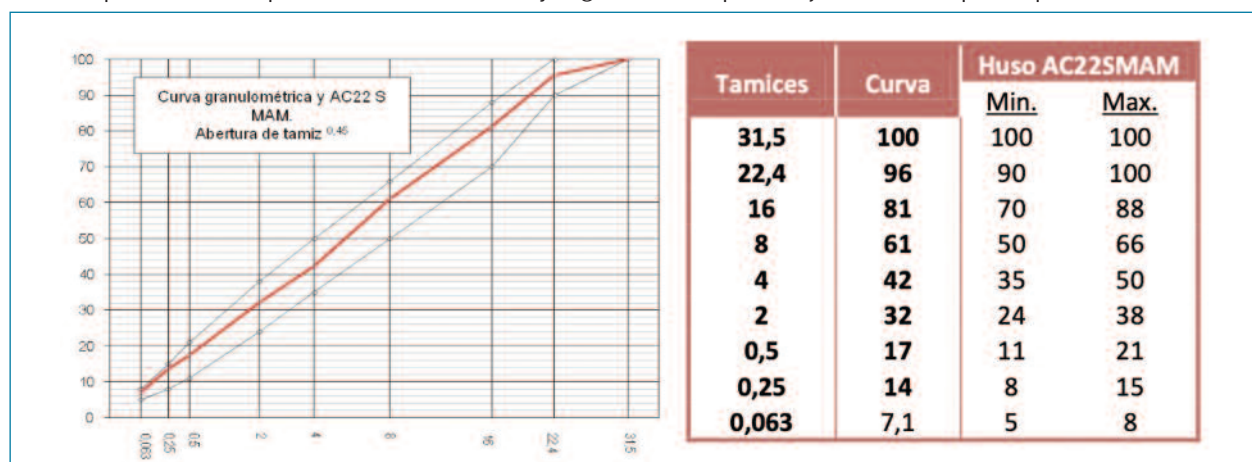


Figura 3. Gráfico granulométrico y tabla de resultados de la granulometría y huso AC22MAM.

5,5 % de ligante sobre el peso de los áridos que corresponde con un 5,3 % sobre el peso de la mezcla. Las principales características de las mezclas de alto modulo estudiadas se indican en la tabla 1, y son las siguientes:

Tabla 1. Resultados de propiedades de la mezcla MAM.

Dato	Unidad	Valor
Densidad aparente, ssd	kg/m ³	2383
Huecos en áridos	%	16,2
Huecos en mezcla	%	4,2
Huecos rellenos	%	74,1
Resistencia T. indirecta aire (S. agua)	MPa	2,85
Resistencia T. indirecta inmersión (S. agua)	MPa	2,61
Resistencia conservada ITSR	%	91,6
Ensayo rodadura, profundidad rodada	%	4,4
Ensayo rodadura, WTS	Pendiente	0,068

Mezcla SMA11 PMB 45/70-65

En la composición de las mezcla Stone Mastic Asphalt, SMA11 se utilizan árido grueso de naturaleza corneana procedente de las canteras de CYCASA en Aldeavieja, Avila, y arena y polvo mineral de aporte de naturaleza caliza. El ligante es un betún modificado con polímeros del tipo PMB45/80-65. En el mezclador se introduce un 0,3 % -s/áridos- de fibras de celulosa en la mezcla durante el proceso de. La curva granulométrica (figura 4) compuesta de los áridos es la siguiente:

El porcentaje de betún empleado es del 6,10 % de ligante sobre el peso de los áridos que corresponde con un 5,73 % sobre el peso de la mezcla. Las principales características de la mezcla SMA11 (tabla número 2) son las siguientes:

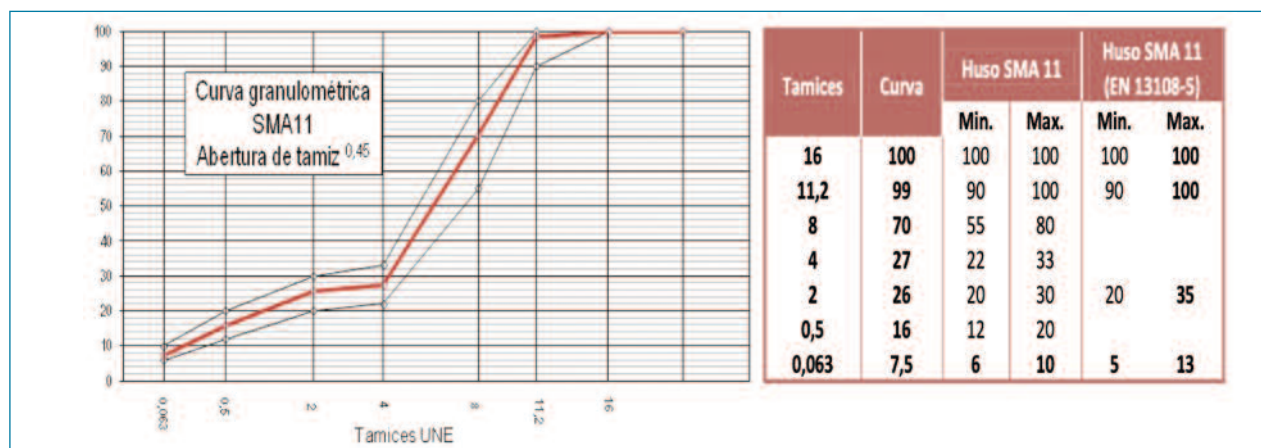


Figura 4. Gráfico granulométrico y tabla de resultados de la granulometría y huso AC22MAM.

Mezclas de alto módulo y rodadura con SMA: Solución estructural y funcional en aeropuertos

Tabla 2. Resultados de propiedades de la mezcla SMA.

Dato	Unidad	Valor
Densidad aparente, ssd	kg/m ³	2305
Huecos en áridos	%	19,8
Huecos en mezcla	%	7,0
Huecos rellenos	%	64,5
Resistencia T. indirecta aire (S. agua)	MPa	1,2
Resistencia T. indirecta inmersión (S. agua)	MPa	1,1
Resistencia conservada ITSR	%	92,5
Ensayo rodadura, profundidad rodada	%	4,9
Ensayo rodadura, WTS	Pendiente	0,06
Escurecimiento de ligante (migrado)	%	0,05

5. PLANTA DE FABRICACIÓN

La planta asfáltica empleada para la fabricación de las mezclas bituminosas es del tipo discontinua de la marca INTRAME, modelo UM 260, y está situada a 20 kilómetros del aeropuerto en el Polígono industrial Rio de Janeiro en el Término Municipal de Algete, en Madrid (imagen de la figura 5). Con una

producción nominal teórica de 260 toneladas a la hora, 5 tolvas de alimentación de áridos en frío, tambor secador de 10 metros de longitud, 3 tanques calorifugados de ligante, mezclador con 3,3 toneladas de capacidad, filtro de mangas y 2 silos de filler.



Figura 5. Fotografía de la instalación de fabricación de las mezclas bituminosas.

La maquinaria empleada en la ejecución de la obra es la siguiente:

- o Fresadora tipo WIRTGEN W200 y WIRTGEN W35DC
- o Extendedoras de mezclas bituminosas tipo VÖGELE SUPER 1900-3i y VÖGELE SUPER 2100, para extendido con anchos variables cada una entre 3 y 11 metros.
- o Rodillos lisos metálicos tipos Rodillo DYNAPAC CC-501

y Rodillo HAMM HD 110i.

- o Compactador de neumático tipo HAMM GRW 280i.
- o Barredora tipo BOBCAT 160H.
- o Cisterna de riego con rampa para aplicación de la emulsión para adherencia entre capas

Tabla 3. Promedio de los resultados de los ensayos.

TIPO MEZCLA	MAM AC22 PMB 10/40-70 S	MAM AC22 15/25 S	SMA SMA11 PMB 45/80-65
Granulometría de los áridos, UNE EN 12697-2			
31,5	100	100	
22,4	96	96	
16	85	85	100
11,2			98
8	59	58	62
4			26
2	29	29	22
0,5	18	17	13
0,063	6,8	7,2	7,2
Contenido de ligante por ignición, UNE EN 12697-39			
% L/Mezcla	5,26	5,25	5,74
Densidad ssd, UNE EN 12697-6			
Densidad, kg/m ³	2376	2369	2371
Contenido en huecos, UNE EN 12697-8			
% H/Mezcla	42	4,5	6,4
% H/Áridos	16,2	16,4	19,2
Sensibilidad al agua, UNE EN 12697-12			
R. Aire, MPa	2,9165	2,8275	2,332
R. Inmersión, MPa	2,725	2,597	2,202
R. conservada, %	94,95	9,65	95,05
Ensayos Marshall, UNE EN 12697-34			
Estabilidad, KN	17,7	17,6	
Deformación, mm	2,35	2,5	
Ensayo de rodadura, UNE EN 12697-22			
PRD, %	3,63	2,50	3,7
Wts	0,049	0,026	0,030
Escurrecimiento de ligante, UNE EN 12697-18			
Ligante Migrado, %			0,15

Mezclas de alto módulo y rodadura con SMA: Solución estructural y funcional en aeropuertos

6. CONTROL DE CALIDAD

Durante la ejecución de la obra se ha llevado un exhaustivo control de calidad con laboratorios internos y laboratorios externos de control de calidad, verificando todas las características previstas para los materiales utilizados. Se ha realizado el control de producción en fábrica descrito en la normativa europea (13108-21), obteniendo el certificado CE para cada una de las mezclas utilizadas.

El promedio de los resultados obtenidos en los ensayos realizados sobre las muestras tomadas de los 3 tipos de mezclas se recoge en la tabla número 3.

7. CONCLUSIONES

El empleo de una doble capa con mezclas de alto módulo MAM en la renovación estructural de pavimentos en aeropuertos hace posible que la ejecución de la obra se efectúe en pla-

zos más reducidos a los previstos si se emplean mezclas convencionales, aspecto de gran importancia en esta tipología de obras.

La combinación de ambos materiales, capas inferiores con mezclas de alto módulo fabricadas con ligantes de baja penetración y capas de rodadura con mezclas tipo SMA fabricadas con altos contenidos de ligantes modificados, permiten obtener paquetes de firmes con excelentes prestaciones, reduciendo futuras operaciones de mantenimiento.

8. AGRADECIMIENTOS

Agradecer de forma especial a D. Pedro Pablo Carrasco Rodríguez, Jefe del Departamento de Laboratorio de Pavimentos de AENA, por su ayuda y colaboración en la realización de los trabajos técnicos realizados sobre los materiales bituminosos en los aeropuertos.



Figura 6. Fotografía de la textura final de mezcla SMA.