

9.4 °C

4.3

110

**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA
EN LA CALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.
PROPUESTA DE CONTROL DE CALIDAD DE PUESTA
EN OBRA MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA.**

2

AUTOR: CARLOS ORTEGA POLO

1

BADAJOS, NOVIEMBRE DE 2013

1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO:

Los objetivos que se pretende alcanzar con este estudio, son dos principalmente:

- a.- En una primera parte se pretende **poner en valor la importancia del control de la temperatura durante la puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente.**
- b.- Una vez estudiado el punto anterior, se proponen **medidas de control para evitar las influencias negativas de las temperaturas durante la puesta en obra de las Mezclas Bituminosas**, mediante el uso de la técnica de Termografía IR.

Por lo tanto el estudio estará estructurado en dos partes diferenciadas según estos objetivos, y unas conclusiones finales comunes, que aúnan los objetivos, o sea, la idoneidad y ventajas del control de Temperaturas por Termografía IR durante la puesta en obra de Mezclas Bituminosas.

2. METODOLOGÍA Y FUENTES:

La metodología del estudio se basa en una revisión bibliográfica y estudio de documentos, artículos técnicos, normas, publicaciones, etc., que se citan como bibliografía, así como fondos de los archivos termográficos de **GATEREX**, que apoyan la argumentación del estudio, para sentar las bases de las conclusiones del mismo que demuestren la idoneidad del uso de la Termografía infrarroja para el control de calidad durante la puesta en obra de las Mezclas bituminosas.

3. LA IMPORTANCIA DEL CONTROL DE LA TEMPERATURA DURANTE LA PUESTA EN OBRA DE MEZCLAS BITUMINOSAS:

La ejecución de cualquier tipo de mezcla bituminosa incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo
- Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo
- Preparación de la superficie que va a recibir la mezcla
- Extensión y compactación de la mezcla

En cualquiera de estas operaciones el control de la Temperatura es importante, pero durante la puesta en obra, dicho control se considera fundamental y básico, porque la correcta gestión de las temperaturas durante las operaciones de transporte, extensión y compactación de las mezclas, evita defectos por segregaciones térmicas y asegura un alto nivel de calidad y durabilidad en la unidad terminada.

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

GATEREX

El éxito y la calidad de una capa de firme construida con una mezcla bituminosa dependen en primer lugar de una correcta elección del tipo de mezcla, de los componentes de la misma y de la correcta elaboración de su fórmula de trabajo.

Una vez definida la fórmula de trabajo, el paso siguiente es la fabricación de la misma, que debe ajustarse a lo dispuesto en la citada fórmula, utilizando la planta de fabricación más adecuada y en buen estado de funcionamiento.

El último paso de este proceso es la puesta en obra de la mezcla bituminosa.

El buen funcionamiento, dentro del firme del que forma parte, de la capa construida, dependerá de una buena selección de los equipos de puesta en obra y de una correcta ejecución de la misma. Pequeñas variaciones en el espesor, en la densidad alcanzada y en la regularidad superficial pueden suponer acortamientos importantes en la vida útil de la capa y del firme construido.

Para el presente estudio, partimos de la base de que en las fases de estudio, obtención de la Fórmula de Trabajo y fabricación de mezclas en caliente y templadas, la temperatura está controlada a la perfección (tanto en laboratorio, como en plantas de fabricación de mezclas) y por tanto, la influencia de la temperatura en estas fases, no son consideradas en este estudio, precisamente por ser éste un parámetro absolutamente controlado.

Una vez fabricada la mezcla, durante las operaciones de transporte, extensión y compactación de las mezclas bituminosas, el control del parámetro temperatura, en la práctica, no es tan preciso, y a menudo se produce el fenómeno de **Segregación térmica de las mezclas**, que influye muy negativamente en la calidad final de la unidad terminada.

Las razones más habituales para que estas segregaciones térmicas ocurran suelen ser "costras de contorno en camiones", "material frío en la tolva de la extendedora" y "paradas prolongadas por falta de camiones", más acusadas por supuesto en época fría.

En un camión de mezcla bituminosa en caliente existen siempre zonas más frías (costra superior, bordes del camión, etc.) y más calientes. El paso del material por la extendedora y por los sinfines apenas elimina estas diferencias. El problema es grave cuando la diferencia es de algunas decenas de grados.

Una segregación térmica de entidad se manifiesta con mezclas de menor resistencia mecánica por tener un porcentaje más alto de huecos (menor densidad) que a su vez se traduce en una mayor permeabilidad, cohesión más baja (que dará lugar a desprendimiento prematuros) y peor comportamiento a fatiga.

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

C/ Luis Álvarez Lencero nº 3, Edificio EURODOM
Planta 2ª oficina 10 – 06011- BADAJOZ
620285879 artecarlos@gmail.com

GATEREX

Se han realizado estudios sobre las características mecánicas de una capa de mezcla bituminosa recién construida, en función de la temperatura de la mezcla en el momento del extendido y el grado de heterogeneidad térmica que presente. Además de reducirse la vida útil del firme por fatiga, tanto mayor la reducción cuanto mayor es la heterogeneidad térmica de la capa, **se estima en un 35% el ahorro anual que puede suponer en la conservación del firme tener una capa homogénea térmicamente en el momento de la puesta en obra.**

Varios estudios (Botella et al., 2008) indican que la temperatura de compactación juega un papel importante en el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas. Esta influencia depende del tipo de mezcla estudiada, pero en general, la tendencia muestra que a mayor temperatura de compactación mayor densidad final y mayores resistencias obtenidas en los ensayos mecánicos.

Por otro lado, la densidad no es la única variable que afecta a la resistencia de la mezcla, ya que se ha demostrado (Recasens Miró et al., 2000) que aunque sea posible obtener densidades similares compactando a temperaturas más bajas, la mezcla final no obtiene las mismas resistencias a tracción indirecta.

Lo anterior está convenientemente demostrado por bastantes publicaciones, artículos, técnicos y proyectos de I+D+i, sobre la materia entre los que destacamos:

- En el documento de 2010, **“Influencia de las segregaciones térmicas en el comportamiento mecánico de la mezclas bituminosas”** dentro el Proyecto FENIX (www.proyectofenix.es) , el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña, junto a las empresas Sacyr y Sorigué, ha realizado un estudio sobre la influencia de los gradientes térmicos en el extendido en las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas, se concluye que:

“Después de analizar los resultados obtenidos, se observa que, para las mezclas estudiadas, la presencia de segregaciones térmicas en el extendido contribuye a disminuir sensiblemente las características mecánicas de la mezcla bituminosa. Se han empleado tres ensayos que actúan de tres formas diferentes y todos ellos han mostrado resultados equivalentes. Bajo esfuerzos a tracción directa e indirecta los resultados han establecido que los testigos provenientes de las áreas a menor temperatura superficial de extendido han experimentado una disminución significativa en sus prestaciones mecánicas, aun cuando las diferencias en densidades son mínimas”.

- En la ponencia de Ramón Botella (Investigador del Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio Universidad Politécnica de Cataluña Barcelona-España), **“Aplicación del ensayo de tracción indirecta para la caracterización de mezclas bituminosas en caliente de acuerdo a la nueva normativa europea”**, presentada en el VIII Congreso Nacional de Firmes, organizado por la Asociación Española de la Carretera en Valladolid del 21 – 23 de Octubre de 2008, se concluye que:

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

C/ Luis Álvarez Lencero nº 3, Edificio EURODOM
Planta 2ª oficina 10 – 06011- BADAJOZ
620285879 artecarlos@gmail.com

GATEREX

“La influencia de la temperatura de compactación de la mezcla depende del contenido en mástico bituminoso de las mezclas estudiadas. Así mezclas con gran cantidad de mástico presentan variaciones importantes a medida que la temperatura de compactación disminuye.”

- José Miguel Baena Rangel (Centro de Estudios del Transporte del CEDEX) y Jacinto Luis García Santiago (Director de Tecnología e I+D+i de SACYR), han investigado el efecto de las segregaciones térmicas sobre la durabilidad y regularidad superficial del firme de las mezclas bituminosas en caliente. Los avances de resultados de estas investigaciones, fueron expuestas en el Artículo “Estudio sobre el efecto de las segregaciones térmicas en la durabilidad de las mezclas bituminosas en caliente”, del nº 155 (Extraordinario SEPT/OCT 2007 MEZCLAS BITUMINOSAS) de la Revista de la Asociación Española de la Carretera, entre los que se destaca que:

“...la menor densidad de las mezclas bituminosas derivada de las segregaciones térmicas afecta negativamente a las características de las mezclas (módulo, resistencia a fatiga, resistencia a la disgregación, etc), que la regularidad superficial del firme empeora cuando se producen este tipo de segregaciones,....”

Uno de los problemas más comunes y costosos en la pavimentación es la segregación de la mezcla. Este problema puede ocurrir por muchas razones y en muchas localizaciones en el proceso de construcción. En los últimos años, la segregación térmica ha sido identificada como uno de los conceptos más importantes en relación con la segregación. Por lo tanto, se estima necesario encontrar una herramienta que identifique la segregación térmica inmediatamente durante el proceso constructivo, de modo que el problema pueda ser rectificado.

Una cámara de infrarrojos es una de las herramientas que han sido reconocidas para ser efectivas en la identificación de la segregación térmica. Con el uso de la cámara de infrarrojos, las imágenes de la mezcla bituminosa en caliente puede ser tomadas en todo el proceso de construcción, incluyendo la carga en el camión durante el transporte, en el camión antes del vertido, en la tolva de la extendedora, detrás de la regla de extendido antes de la compactación, y después de la compactación.

El uso de termografía de infrarrojos permite identificar la presencia de puntos fríos en las zonas de la mezcla recién extendida, los cuales afectan a la compactación y llevan a cabo al daño prematuro del pavimento.

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

C/ Luis Álvarez Lencero nº 3, Edificio EURODOM
Planta 2ª oficina 10 – 06011- BADAJOZ
620285879 ortecarlos@gmail.com

Para acercarse lo máximo posible a la homogeneidad térmica durante la puesta en obra, que eleve la calidad de las mezclas, aparte del uso de equipos adecuados y eficientes, hay que gestionar adecuadamente, un buen sistema de Control de Calidad con medios y técnicos con EXPERIENCIA y CRITERIO capaces de distinguir lo importante de lo no importante.

Entre los medios técnicos más innovadores para el control de temperaturas durante la puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente, está la Técnica de Termografía Infrarroja, que mediante cámaras termográficas detecta la distribución de la temperatura en cada punto de la imagen, asignándole un color diferente a cada temperatura, detectando perfectamente las zonas segregadas durante la puesta en obra.

4. CONTROL DE TEMPERATURAS MEDIANTE TÉCNICA DE TERMOGRAFÍA IR DURANTE LA PUESTA EN OBRA DE MEZCLAS BITUMINOSAS:

En la actualidad, durante el proceso de puesta en obra de una mezcla bituminosa, donde tan CRÍTICO es el control de la temperatura, lo habitual es que se usen termómetros más o menos sofisticados (desde el termómetro de varilla, hasta el termómetro IR), que obtienen información puntual de la temperatura en el sitio de medición, sin que sea muy fiable, extrapolar valores a zonas más o menos próximas del punto de medición.

El termómetro IR supuso una mejora en cuanto a rapidez y posibilidad de trazar perfiles térmicos, pero no son muy fiables para obtener la temperatura previa a la compactación en capas finas de micro aglomerado. Además, el empleo de silos móviles de transferencia con el consiguiente uso de tolvas suplementarias, impiden la tradicional toma de temperaturas previa al extendido.

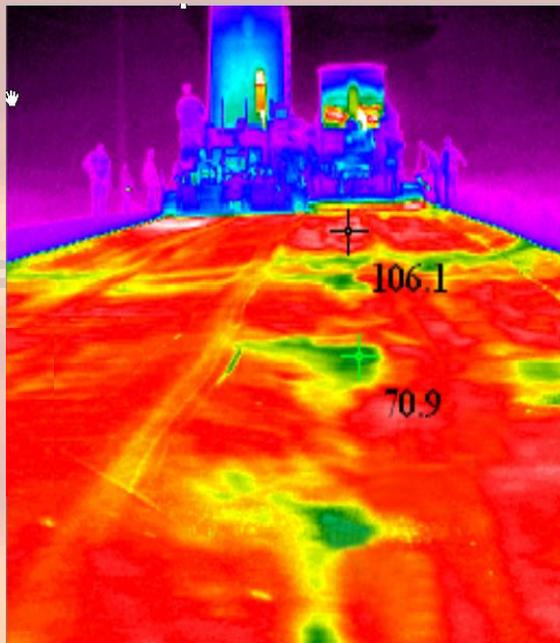
Una técnica innovadora para evitar segregaciones térmicas y asegurar la calidad de la puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente es el empleo de cámaras termográficas de infrarrojos para detectar segregaciones térmicas en el extendido de la mezcla. Además con una cámara termográfica podemos comprobar fácil rápida y eficazmente, los siguientes registros de temperatura durante la puesta en obra:

- Temperatura ambiente.
- Temperatura de la mezcla en la tolva.
- Funcionamiento de los calentadores de la extendedora.
- Segregación térmica.
- Temperatura de la mezcla durante la compactación.

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

GATEREX

El control de estos registros es fundamental para el asegurar el control y la durabilidad de las mezclas asfálticas. Además, con el uso de cámaras termográficas se puede detectar fácilmente el mal funcionamiento de un calentador de la compactadora y otros elementos de maquinaria antes de comenzar el extendido.



La diferencia de temperaturas entre los distintos puntos durante la pavimentación, indica las diferencias de densidades por segregación Térmica

Estas cámaras funcionan basándose en el fenómeno de que todo cuerpo que se encuentre a una temperatura superior al cero absoluto emite radiación. Esta radiación tiene una longitud de onda mayor a la máxima que puede percibir el ojo humano.

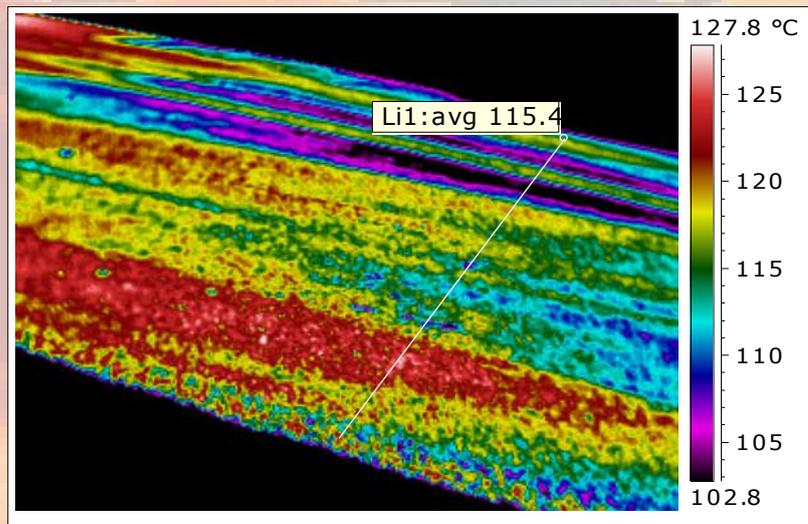
Una cámara termográfica está equipada con multitud de sensores que son capaces de detectar este tipo de radiación (infrarroja); cada uno de estos sensores informa de la cantidad de radiación recibida y asigna un valor proporcional a cada nivel de radiación recibido por cada sensor y mediante un software de post-proceso gráfico, se obtiene una imagen en escala de colores donde los más oscuros se asocian a los valores inferiores de radiación y viceversa. Por último, calibrando la cámara con un cuerpo a una temperatura conocida, es posible obtener una imagen (termograma) en tiempo real de la temperatura superficial de un objeto.

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

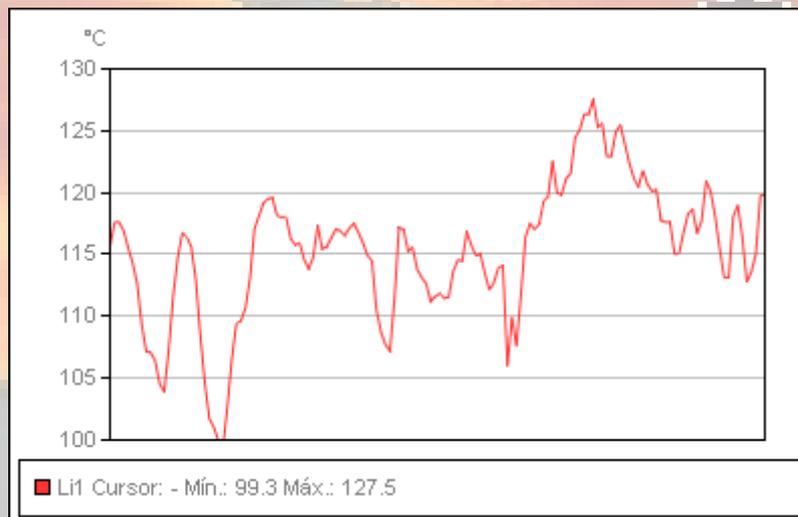
C/ Luis Álvarez Lencero nº 3, Edificio EURODOM
Planta 2ª oficina 10 – 06011- BADAJOZ
620285879 artecarlos@gmail.com

9.4
4.3

GATEREX



110
7



El Termograma obtenido en obra se analiza mediante software y se procesa la información obtenida gráfica y analíticamente.

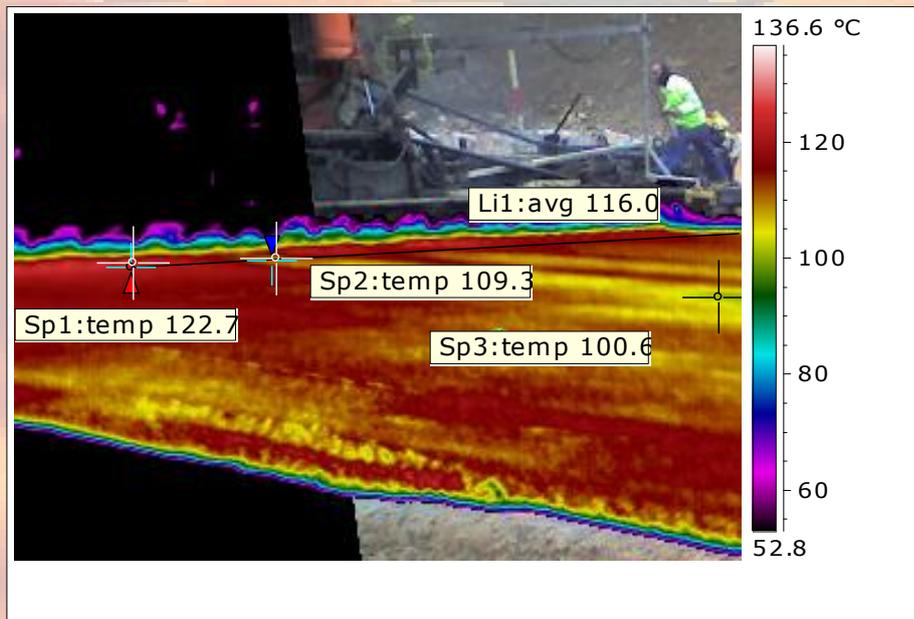
Por ejemplo, en el termograma anterior se usa una línea de medición para obtener un perfil térmico transversal durante el proceso de compactación de una capa de rodadura.

Mediante análisis se demuestra que existen segregaciones térmicas de hasta 28° C en el perfil representado. La T^a media en el perfil es de 115,4° C. La T^a más alta del perfil es de 127,5° C y la más baja es de 99,3 °C. Esto significa que la diferencia $T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$ supone un gradiente del 24,5 % sobre la T^a Media.

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

C/ Luis Álvarez Lencero nº 3, Edificio EURODOM
Planta 2ª oficina 10 – 06011- BADAJOZ
620285879 artecarlos@gmail.com

GATEREX



110

8

En el termograma anterior mostramos la segregación existente en la rampa de extendido. Existen más 10° C de diferencia de Tª en puntos relativamente próximos a la salida de la extendidora. (Diferencia Sp1-Sp2). También observamos que la media de Tª de salida del patín de la extendidora es de 116° C y que en cuanto se aleja un poco en su avance, sin que haya comenzado el proceso de compactación, existen puntos de 100,6° C.

Con los ejemplos anteriores, queda demostrada la viabilidad e idoneidad técnica de la detección, registro y medida de las Segregaciones Térmicas durante la puesta en obra de las mezclas bituminosas mediante Termografía infrarroja.

5. PROPUESTA DE USO DE TERMOGRAFÍA EN EL CONTROL DE PUESTA EN OBRA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE:

Una vez demostrada la viabilidad de la técnica, proponemos una sistemática de control tipo de puesta en obra de MBC mediante Termografía IR.

5.1.- DETERMINACIÓN DEL OBJETO DE CONTROL:

Para determinar el objeto de control y centrarlo en cada fase de la puesta en obra, nos basaremos en la Normativa española aplicable y vigente, que son los Artículos 542 y 543 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3): 542.- *MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE TIPO*

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

C/ Luis Álvarez Lencero nº 3, Edificio EURODOM
Planta 2ª oficina 10 – 06011- BADAJOZ
620285879 artecarlos@gmail.com

GATEREX

HORMIGÓN BITUMINOSO y 543.- MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPAS DE RODADURA. MEZCLAS DRENANTES Y DISCONTINUAS.

Los artículos anteriores son de obligado cumplimiento y en ellos se regulan las condiciones deben observarse durante la ejecución de dichas unidades de obra.

La ejecución de cualquier tipo de mezcla bituminosa en caliente incluye las siguientes operaciones:

- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo.
- Fabricación de la mezcla de acuerdo con la fórmula de trabajo.
- Transporte de la mezcla al lugar de empleo.
- Preparación de la superficie que va a recibir la mezcla.
- Extensión y compactación de la mezcla.

Para el objeto del presente estudio, nos centramos en las actividades que constituyen la puesta en obra, o sea, del transporte, descarga en extendedora, extendido y compactado de la mezcla, que son los que van a ser objeto de control.

En el punto **542.4 EQUIPO NECESARIO PARA EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**, se establecen las prescripciones obligatorias para los equipos para la puesta en obra. A continuación repasamos aquellas que se relacionan con la temperatura de la mezcla, que en definitiva es el parámetro a controlar:

- **542.4.2.- Elementos de Transporte:** *“Los camiones deberán siempre estar provistos de una lona o cobertor adecuado para proteger la mezcla bituminosa en caliente durante su transporte”.* (Se entiende que la protección es básicamente contra pérdidas térmicas durante el transporte al lugar de empleo)
- **542.4.3.- Equipos de Extendido:** *“La extendedora deberá estar dotada de un dispositivo automático de nivelación y de un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal, ” y que “Para las categorías de tráfico pesado T00 a T2 o con superficies a extender en calzada superiores a setenta mil metros cuadrados (70 000 m²), será preceptivo disponer, delante de la extendedora, de un equipo de transferencia autopropulsado de tipo silo móvil, que esencialmente garantice la homogeneización granulométrica y además permita la uniformidad térmica y de las características superficiales”*

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

C/ Luis Álvarez Lencero nº 3, Edificio EURODOM
Planta 2ª oficina 10 – 06011- BADAJOZ
620285879 artecarlos@gmail.com

En el punto **542.5.- EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**, repasamos aquellas operaciones que se relacionan con la temperatura de la mezcla, que es el parámetro a controlar:

- **542.5.1.1.- Estudio de la mezcla y obtención de la Fórmula de trabajo.**
Principios generales: *La fórmula de trabajo señalará:*

- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga desde los elementos de transporte.
- La temperatura mínima de la mezcla al iniciar y terminar la compactación.

- **542.5.5.- Transporte de la mezcla:** *La mezcla bituminosa en caliente se transportará en camiones de la central de fabricación a la extendidora. Para evitar su enfriamiento superficial, deberá protegerse durante el transporte mediante lonas u otros cobertores adecuados. En el momento de descargarla en la extendidora o en el equipo de transferencia, su temperatura no podrá ser inferior a la especificada en la fórmula de trabajo.*

- **542.5.6.- Extensión de la mezcla:** *La extensión se realizará con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la extendidora a la producción de la central de fabricación de modo que aquélla no se detenga. En caso de detención, se comprobará que la temperatura de la mezcla que quede sin extender, en la tolva de la extendidora y debajo de ésta, no baje de la prescrita en la fórmula de trabajo para el inicio de la compactación; de lo contrario, se ejecutará una junta transversal.*

- **542.5.7.- Compactación de la mezcla:** *La compactación se realizará según el plan aprobado por el Director de las Obras en función de los resultados del tramo de prueba; se deberá hacer a la mayor temperatura posible, sin rebasar la máxima prescrita en la fórmula de trabajo y sin que se produzca desplazamiento de la mezcla extendida; y se continuará mientras la temperatura de la mezcla no baje de la mínima prescrita en la fórmula de trabajo y la mezcla se halle en condiciones de ser compactada, hasta que se alcance la densidad especificada en el apartado 542.7.1.*

Con lo anterior, quedan acotadas, las mediciones de temperatura necesarias y obligatorias a controlar durante la puesta en obra de las mezclas bituminosas en caliente, según la normativa vigente en España. Las correspondientes al artículo 543, Mezclas Bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas, se considera que son las mismas y por tanto consideramos también válido el método para su control.

Todas esas mediciones pueden realizarse, rápida, cómoda y limpiamente (sin contacto) mediante Termografía.

5.2.- DETERMINACIÓN DE PERFILES DE DENSIDAD:

La segregación afecta a la densidad por lo que un sistema apropiado de control para evitar segregaciones consistiría en la medición de la densidad in situ mediante sistemas de lectura rápida. A partir de estas lecturas se trazan perfiles de densidad para detectar áreas segregadas. La utilización de perfiles de densidad no distingue entre segregación térmica y granulométrica.

Para elaborar los perfiles de densidad, se determina primero la ubicación del perfil de densidad usando una cámara termográfica y después, las mediciones de densidad se realizan usando un dispositivo de densidad nuclear o bien mediante la extracción de testigos.

El **criterio para escoger la localización de un perfil de densidad** está basado en la variación de temperaturas en un área de la capa asfáltica recién pavimentado antes de su compactación.

El criterio es el siguiente:

$\Delta T \geq 25^{\circ}F$ Realizar el perfil de densidad /Extracción de testigos

$\Delta T \leq 25^{\circ}F$ Realizar ensayo de control de calidad normal

Un equipo de dos personas completa el ensayo, un termógrafo que maneja cámara TERMOGRÁFICA, e identifica las áreas que requieren un perfil de densidad y otra persona marca las áreas identificadas para los perfiles de densidad.

El procedimiento del perfil de densidad se usa como herramienta del control de calidad. Los **procedimientos generales para identificar la localización de los perfiles de densidad** se indican a continuación:

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

1. Tomar una serie de termogramas de cada una de las siguientes zonas:

- Superficie existente en frente de la extendidora
- En la caja del camión o en el material del elevador en cordón
- En la tolva de la extendidora
- En la regla de extendido de la extendidora

2. Tomar una serie de termogramas para indicar la temperatura de compactación de la capa asfáltica de la siguiente manera:

- Una imagen inmediatamente antes de la compactación
- Una imagen inmediatamente antes de la compactación intermedia
- Una imagen inmediatamente antes del final de la compactación

3. Tomar una serie de termogramas y buscar localizaciones para realizar perfiles de densidad (o extracción de testigos):

- Permanecer dentro de los 10 metros detrás de la regla de extendido de la extendidora
- Mirar hacia la extendidora y ver todo el carril
- Analizar el pavimento recién colocado para cualquier mancha fría sobre la capa. Las imágenes infrarrojas deben ser tomadas en las zonas que no han sido compactadas:

- Si el diferencial de temperatura es mayor o igual a 25°F, se marcará esta zona. Se tomará una imagen infrarroja y digital de la misma localización usando alguna referencia. Se determinará la coordenada transversal desde el borde del pavimento a esta zona. Esta zona se convertirá en el punto cero del perfil de densidad, el cual se llevará a cabo después de terminar la compactación.

Respecto a la segregación longitudinal causada normalmente por la extendidora en la que aparecen vetas longitudinales, el perfil no debe cruzar por encima de las vetas longitudinales. Para determinar la línea del perfil, se recomienda tomar una distancia de 0,5 -1,0 m en los extremos y a partir de aquí

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

GATEREX

determinar la línea del perfil, cuyo trazado será esviado respecto de la veta longitudinal.

- Si el diferencial de temperatura es menor de 25°F, se realizará el ensayo normal de control de calidad.

Las imágenes infrarrojas y los perfiles de densidad deben ser además realizados en áreas de notable segregación visual y en cualquier momento que haya una parada/inicio de la operación de pavimentación. El procedimiento es el mismo que el mencionado anteriormente.

Después de que los puntos identificados y marcados para los perfiles de densidad han sido compactados completamente se empiezan los **ensayos de perfil de densidad**.

Un perfil de densidad se describe como una línea longitudinal de 15 m sobre la capa con las lecturas de densidad aproximadamente cada 1,5 m.

Para cada perfil de densidad se define el rango de densidad y la disminución de densidad. El rango de densidad es la diferencia entre las lecturas de densidad máxima y mínima a lo largo del perfil y la disminución de densidad es la diferencia entre las lecturas media y mínima.

Los perfiles de densidad son un procedimiento sistemático para determinar áreas de baja densidad debidas a la segregación granulométrica o térmica. La inspección visual (segregación granulométrica) o la utilización de la cámara termográfica (segregación térmica) determinan la localización del perfil de densidad. Los perfiles pueden ser usados como un método de control para mejorar la calidad del producto acabado, aumentando además la durabilidad de la capa de firme y evitando defectos a edades tempranas que supondrían un gasto considerable en labores de conservación y reparación del mismo.

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

C/ Luis Álvarez Lencero nº 3, Edificio EURODOM
Planta 2ª oficina 10 – 06011- BADAJOZ
620285879 artecarlos@gmail.com

6. CONCLUSIONES FINALES DEL ESTUDIO:

Como conclusiones del presente estudio destacamos:

- 1.- Se consigue poner en valor la importancia que tiene evitar las segregaciones térmicas, durante la puesta en obra, anulando sus efectos nocivos sobre la calidad y durabilidad de las mezclas asfálticas, mediante el control de temperaturas.
- 2.- Se demuestra mediante ejemplos y datos bibliográficos, que la termografía infrarroja, es una técnica muy apropiada, válida y eficaz para detectar segregaciones térmicas durante la puesta en obra de Mezclas Bituminosas en caliente y templadas.
- 3.- Se propone un método para el control de segregaciones térmicas que integra la detección de las mismas mediante termografía con otros métodos de medida de densidades in situ o mediante extracción de testigos.
- 4.- Todo lo anterior, se relaciona con las prescripciones de control de temperaturas solicitadas según la normativa española vigente de obligado cumplimiento (Artículos 542 y 543 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes)

En definitiva:

SE PROPONE EL USO DE CÁMARAS TERMOGRÁFICAS DURANTE LA PUESTA EN OBRA DE M.B.C. COMO HERRAMIENTA DE APOYO AL CONTROL DE CALIDAD, CONSIDERÁNDOSE QUE AL MENOS DEBERÍA USARSE EN LA REALIZACIÓN DE LOS OBLIGATORIOS Y PRECEPTIVOS TRAMOS DE PRUEBA A FIN DE COMPROBAR LA CORRESPONDENCIA CON LAS TEMPERATURAS SEÑALADAS EN LA FORMULA DE TRABAJO A APLICAR Y ASEGURAR QUE EL FUNCIONAMIENTO TÉRMICO DE LOS EQUIPOS DE EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN ES ADECUADO Y EVITA LA APARICIÓN DE SEGREGACIONES TÉRMICAS, ELEVANDO POR TANTO EL NIVEL DE CALIDAD DE LA UNIDAD TERMINADA Y ASEGURANDO UNA DURABILIDAD DE LA CAPA DE FIRME, QUE EVITE GASTOS ANTICIPADOS DE CONSERVACIÓN AL EVITAR DEFECTOS DERIVADOS DE LAS SEGREGACIONES TÉRMICAS.

GABINETE TERMOGRÁFICO EXTREMEÑO

C/ Luis Álvarez Lencero nº 3, Edificio EURODOM
Planta 2ª oficina 10 – 06011- BADAJOZ
620285879 artecarlos@gmail.com

7. BIBLIOGRAFÍA:

Además de la bibliografía ya citada en el texto anterior, para documentar el presente artículo, se ha consultado la siguiente bibliografía:

- Botella, R.; Valdés, G. A.; Martínez, A. (2008). "Aplicación del ensayo de tracción indirecta para la caracterización de mezclas bituminosas en caliente de acuerdo a la nueva normativa europea." *VIII Congreso Nacional de Firmes*, Valladolid, 2008.
- MINISTERIO DE FOMENTO. Firmes y Pavimentos. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), Orden FOM 891/2004, España, 2004.
- Proyecto FENIX (2008). "Inventario clasificado de fallos prematuros y sus causas", Entregable 6.1, Tarea 6: Pavimentos de larga duración, SACYR.
- JACINTO L. GARCÍA SANTIAGO (SACYR). "Las segregaciones técnicas: su Identificación, influencia en la durabilidad y procedimiento para reducir las". Agosto 2005
- "Influencia de los betunes en las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas". Cedex 2009
- CATÁLOGO DE DETERIOROS DE FIRMES. MINISTERIO DE FOMENTO.
- Andrés Costa Hernández. ELSAN S.A. Novedades en la maquinaria de aplicación de mezclas. IV Jornadas ASEFMA. Mayo de 2009
- Tesis Doctoral Eva Gómez González, Félix E. Pérez Jiménez. Barcelona 2009. Factores que influyen en la heterogeneidad de la fabricación y extendido de las mezclas bituminosas en caliente así como el efecto en su comportamiento.