

EQUIPOS DE TRANSFERENCIA Y EXIGENCIAS DE REGULARIDAD

Andrés Costa Hernández

Subdirección de Tecnología. Asfaltos y Construcciones ELSAN, S.A.

Definición de regularidad superficial. IRI. Importancia

La búsqueda de pavimentos más duraderos y más seguros ha llevado, a los ingenieros responsables de la construcción o de la conservación de las carreteras, a diseñar y construir el firme de las mismas siguiendo el criterio de colocar en las capas de base e intermedia materiales capaces de soportar las cargas verticales transmitidas por el tráfico durante el periodo de vida establecido, por ejemplo con materiales tratados con cemento y mezclas bituminosas más resistentes, y colocando en la capa de rodadura o pavimento, un material o tratamiento capaz de resistir los esfuerzos tangenciales y de torsión producidos por el tráfico y, en general, con muy poca aportación a resistir los esfuerzos verticales, pero con una superficie de rodadura lo más cómoda, confortable y segura posible para el usuario.

En definitiva, de la capa de rodadura o pavimento se valoran las características superficiales de la misma, de las que el usuario percibe fundamentalmente dos de ellas: **LA TEXTURA Y LA REGULARIDAD SUPERFICIAL**.

La **textura** es determinante en la seguridad vial al influir en características del pavimento como son: **la adherencia del pavimento y neumático, la capacidad de drenaje superficial, el riesgo de hidroplaneo, etc.**

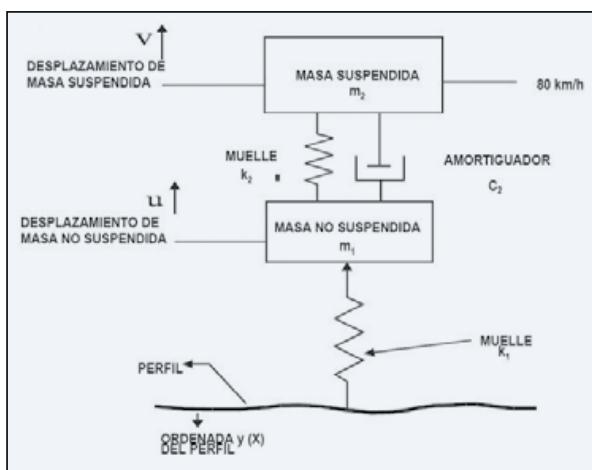
La regularidad superficial viene determinada por la geometría del perfil longitudinal, que influye de manera muy importante en la seguridad y la comodidad de los usuarios, y en la economía de la conservación del firme.

La regularidad superficial de un firme viene determinada por la diferencia entre las cotas teóricas y las cotas reales del perfil longitudinal del mismo. Estas diferencias de cotas o irregularidades se pueden haber producido durante el proceso constructivo o como consecuencia de la evolución de la carretera en el tiempo por el paso de los vehículos. Generalmente el estado superficial de un firme en un momento determinado de su vida es consecuencia de una combinación de ambas causas.

MEZCLAS BITUMINOSAS

La regularidad superficial se define normalmente por un índice referido a una determinada longitud de carretera. Los índices se obtienen midiendo el perfil longitudinal y aplicando un modelo matemático de análisis para reducir el perfil obtenido a un indicador de tipo estadístico.

Tradicionalmente el equipo y método de medida del perfil más empleado ha sido una regla (normalmente rodante) de una determinada longitud (mayoritariamente de tres metros) que mediante un sistema gráfico determinaba las irregularidades del punto medio de la regla respecto a los dos extremos (que definen el plano de comparación). O bien con el Viágrafo, modelo más evolucionado de regla rodante pues es más larga, tiene una longitud de 9,31 metros, y esta apoyada en 8 puntos, más uno central de medida.



Cualquiera de los dos procedimientos tiene muchas limitaciones para el análisis del perfil longitudinal y han sido sustituidos paulatinamente por modelos más representativos de la percepción real de los usuarios.

Actualmente el modelo más utilizado es el de un cuarto de coche normalizado (Golden Quarter Car) circulando a 80 km/h. El desplazamiento vertical de la masa superior respecto a la inferior, acumulado en la longitud de referencia, se conoce con el nombre de **IRI** (International Roughness Index) o también Índice de Regularidad Internacional.

La medida se realiza con unos equipos que determinan la cota de una (o más) líneas del perfil longitudinal en la trayectoria que coincide con la rodada del vehículo de medida y sensiblemente con la trayectoria media de una de las rodadas de los vehículos. Normalmente se utiliza la línea seguida por la rodada derecha.

El uso del IRI, como indicador de la regularidad superficial de un pavimento, se ha generalizado tanto en España como a nivel internacional. Con este procedimiento se determina el perfil longitudinal del pavimento.

No hay que olvidar, pues también tiene su importancia y produce movimientos de balanceo en los usuarios del vehículo, el perfil transversal del pavimento.

La medida puede realizarse con perfilógrafos transversales, formados generalmente por una viga metálica que se sitúa fija sobre la carretera y sobre la que se mueve una rueda apoyada en el pavimento,

EQUIPOS DE TRANSFERENCIA Y EXIGENCIAS DE REGULARIDAD



registrando los desplazamientos verticales. Son aparatos que miden el perfil transversal en secciones aisladas y con muy bajo rendimiento.

Actualmente se utilizan procedimientos basados en fotografías estereoscópicas y proyecciones con rayos láser, que permiten dibujar los perfiles transversales de forma continua. Estos aparatos van montados sobre vehículos que se desplazan por la carretera a una cierta velocidad, permitiendo obtener los resultados con altos rendimientos.

Exigencias de IRI en la Normativa Española

La Normativa española, relativa a la regularidad superficial de las distintas capas bituminosas de un firme, está recogida en los Artículos 542 (MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE TIPO HORMIGÓN BITUMINOSO) y 543 (MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPAS DE RODADURA, MEZCLAS DRENANTES Y DISCONTINUAS) del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG3. Estos dos Artículos se han actualizado en la Orden Circular 24/2008 de 31 de julio de 2008, adaptándolos a la nueva normativa europea referente al marcado CE de las mezclas bituminosas, vigente desde el día 1 de marzo de 2008. En los Apartados 542.7.3 y 543.7.3 de los citados Artículos se establece que el Índice de Regularidad Internacional (IRI), según la NLT-330, deberá cumplir lo prescrito en las tablas 542.15 (firmes de nueva construcción), 542.16 (firmes rehabilitados estructuralmente), 543.13 (firmes de nueva construcción) y 543.14 (firmes rehabilitados estructuralmente) respectivamente. Las Tablas 542.15 y 542.16 se recogen a continuación. Las Tablas 543.13 y 543.14 son similares a estas.

Porcentaje de kilómetros	Tipo de capa			
	Rodadura e intermedia		Otras capas bituminosas	
	Tipo de vía			
	Calzada de autopistas y autovías	Resto de vías		
50	< 1,5	< 1,5	< 2,0	
80	< 1,8	< 2,0	< 2,5	
100	< 2,0	< 2,5	< 3,0	

Tabla 542.15. Índice de regularidad internacional (IRI) (dm/hm) para firmes de nueva construcción.

MEZCLAS BITUMINOSAS

Porcentaje de kilómetros	Tipo de vía			
	Calzada de autopistas y autovías		Resto de vías	
	Espesor de recrecimiento (cm.)			
	> 10	≤ 10	> 10	≤ 10
50	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 2,0
80	< 1,8	< 2,0	< 2,0	< 2,5
100	< 2,0	< 2,5	< 2,5	< 3,0

Tabla 542.16. Índice de regularidad internacional (IRI) (dm/hm) para firmes rehabilitados estructuralmente.

Los citados Artículos 542 y 543 establecen la forma de evaluar la regularidad superficial de las capas de mezcla bituminosa construidas. Considera como lote, que se acepta o rechaza en bloque, al menor que resulte de aplicar los tres criterios siguientes a una sola capa de mezcla bituminosa en caliente:

- Quinientos metros (500 m.) de calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3.500 m²) de calzada.
- La fracción construida diariamente.

La medida de la regularidad superficial se realizará a partir de las 24 horas de construida la capa analizada y siempre antes de la extensión de la capa siguiente. Se determinara el valor del IRI según la NLT-330, calculando un solo valor del IRI para cada hectómetro del perfil auscultado. Este valor se asignara a dicho hectómetro, realizándose el mismo proceso con el resto de hectómetros del tramo considerado como lote según la definición anterior.

Los valores obtenidos deberán cumplir lo especificado en las Tablas anteriormente citadas. Los criterios de aceptación o rechazo que se establecen son los siguientes:

MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE TIPO HORMIGÓN BITUMINOSO

- Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada exceden los límites establecidos en el apartado 542.7.3 en más del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo controlado o de la longitud total de la obra para capas de rodadura, se extenderá una nueva capa de mezcla bituminosa con el espesor que determine el Director de las Obras por cuenta del Contratista.
- Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada exceden los límites establecidos en el apartado 542.7.3 en más del diez por ciento (10%) de la longitud del tramo con-

EQUIPOS DE TRANSFERENCIA Y EXIGENCIAS DE REGULARIDAD

trolado o de la longitud total de la obra para capas de rodadura, se corregirán los defectos de regularidad superficial mediante fresado por cuenta del Contratista. La localización de dichos defectos se hará sobre los perfiles longitudinales obtenidos en la auscultación para la determinación de la regularidad superficial.

MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPAS DE RODADURA. MEZCLAS DRENANTES Y DISCONTINUAS

- Si los resultados de la regularidad superficial de la capa acabada exceden los límites establecidos en el apartado 543.7.3, se demolerá el lote, se retirará a vertedero y se extenderá una nueva capa por cuenta del Contratista.

Los Artículos 542 y 543 del PG-3, modificados en la Orden Circular 24/2008, han introducido una novedad por cuanto consideran la posibilidad de incrementar el abono de la mezcla bituminosa utilizada en la capa de rodadura, en concreto en un 5%, si se mejora la calidad de la regularidad superficial. Esta mejora está definida tanto para las mezclas tipo hormigón bituminoso (Artículo 542) como para las drenantes y las discontinuas (Artículo 543) y se definen unas Tablas para cada caso, es decir, según sean firmes de nueva construcción o firmes rehabilitados estructuralmente. El criterio para realizar este incremento de abono, en el caso de las mezclas tipo hormigón bituminoso (para las drenantes y discontinuas es análogo), es el siguiente:

- Si los resultados de la regularidad superficial de capa de rodadura en tramos uniformes y continuos, con longitudes superiores a dos kilómetros (2 Km) mejoran los límites establecidos en el apartado 542.7.3, y cumplen los valores de la tabla 542.20a ó 542.20b, según corresponda, se podrá incrementar el abono de mezcla bituminosa según lo indicado en el apartado 542.11.

A continuación se recogen la Tabla 542.20b (por ejemplo) y la Tabla 542.16, correspondiente a las exigencias mínimas de regularidad superficial para el mismo caso de tipo de actuación (firmes rehabilitados estructuralmente).

Porcentaje de kilómetros	Tipo de vía		
	Calzada de autopistas y autovías		Resto de vías
	Espesor de recrecimiento (cm.)		
	> 10	≤ 10	
50	< 1,0	< 1,0	< 1,0
80	< 1,2	< 1,5	< 1,5
100	< 1,5	< 1,8	< 2,0

Tabla 542.20b. Índice de regularidad internacional (IRI) (dm/hm) para firmes rehabilitados estructuralmente, con posibilidad de abono adicional.

MEZCLAS BITUMINOSAS

Porcentaje de kilómetros	Tipo de vía			
	Calzada de autopistas y autovías		Resto de vías	
	Espesor de recrecimiento (cm.)			
	> 10	≤ 10	> 10	≤ 10
50	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 2,0
80	< 1,8	< 2,0	< 2,0	< 2,5
100	< 2,0	< 2,5	< 2,5	< 3,0

Tabla 542.16. Índice de regularidad internacional (IRI) (dm/hm) para firmes rehabilitados estructuralmente.

En algunas Comunidades Autónomas se está trabajando en la medición y evaluación del IRI en sus carreteras, tanto en obras de nueva construcción como en obras de acondicionamiento y refuerzo. En algún caso, como es la Junta de Andalucía, para las obras de rehabilitación estructural del firme, en función del espesor de refuerzo exige unos valores mínimos del IRI en el pavimento existente y que se va reforzar, para conseguir los valores finales que establece y que son, en general, análogos a los definidos en los Artículos 542 y 543 del PG-3. Para conseguir estos valores mínimos del IRI en la superficie antigua, establece la necesidad de ejecutar algún tratamiento previo (capa de regularización, microfresado, etc.) adicionales al refuerzo necesario.

A nivel internacional se utilizan exigencias similares a las españolas y en algunos países lo que se hace es considerar los datos de la medida puntual del IRI en tramos de mayor o menor longitud, como una distribución normal y calcular el valor medio y su desviación típica y en este caso se limita el valor máximo de la media y de la desviación típica e incluso se suele establecer un límite para cualquier valor puntual.



Factores que influyen en el IRI

La regularidad superficial de un pavimento bituminoso viene definida inicialmente por el acabado que se consigue en la puesta en obra de las capas de mezcla bituminosa, que depende de manera directa del funcionamiento de la regla de la extendedora. Este dispositivo funciona de manera flotante sobre el material que extiende, mediante un equilibrio de fuerzas, en el que influye, de manera fundamental, la velocidad de avance

EQUIPOS DE TRANSFERENCIA Y EXIGENCIAS DE REGULARIDAD

de la maquina. Mantener una velocidad de avance de la extendedora constante facilita conseguir una buena regularidad superficial de la capa construida.

Otro factor que influye en la sustentación de la regla es la temperatura de la mezcla y su capacidad portante, siendo, en este sentido, aconsejable mantener una temperatura homogénea en toda la mezcla y evitar segregaciones de la misma.

Los factores que pueden influir en el equilibrio de fuerzas que determinan la sustentación de la regla de la extendedora son los siguientes:

- Irregularidades de la base.
- Cambios en la velocidad del extendido.
- Paradas de la extendedora.
- Heterogeneidad de la mezcla.
- Volumen de la mezcla frente a la regla.
- Movimiento de los sifines.

Además del equilibrio de fuerzas en la regla de la extendedora, para conseguir un buen IRI inicial, también influye el equipo de compactación y la forma de realizarla. El IRI de una superficie pavimentada puede ser inicialmente bueno pero evolucionar mal en el tiempo, empeorando considerablemente. Esta circunstancia esta directamente relacionada con mezclas susceptibles de sufrir una post-compactación bajo la acción del tráfico.

En obras de nueva construcción, alcanzar los valores mínimos del IRI establecidos en la normativa española e incluso mejorarlos sensiblemente es sencillo, siempre que se tenga especial cuidado en la ejecución de la capa, cumpliendo las exigencias de los valores del IRI en todas las capas que se van construyendo. Estos valores también están prescritos en el PG-3.

Los problemas y dificultades para alcanzar los valores del IRI prescritos en la normativa española vi gente aparecen frecuentemente en las obras de acondicionamiento y de rehabilitación de firmes. Un caso muy problemático se produce cuando la superficie existente no tiene una buena regularidad superficial y el espesor de mezcla bituminosa a extender es pequeño (como sucede en las obras de rehabilitación superficial del pavimento mediante el extendido de una capa de mezcla bituminosa discontinua del tipo BBTM B, las antiguamente denominadas tipo M).

En este caso y cuando la irregularidad de la superficie de apoyo es importante, se ria necesario incluir alguna actuación, previa al refuerzo o a la capa de rodadu-



MEZCLAS BITUMINOSAS



ra, para la mejora del IRI inicial, como podría ser mediante técnicas de cepillado, fresado o microfresado, o bien la construcción de una capa adicional de regularización.

Para el extendido de estas capas delgadas de mezcla bituminosa se suele trabajar con la regla de la extendedora a plancha fija o bien se utilizan dispositivos de nivelación eficaces que aseguren una mejora de la regularidad, como puede ser, por ejemplo, el uso de una barra larga con sensores por ultrasonido, que permiten conseguir una sensible mejora del IRI existente en la capa de apoyo.

Por todo ello, para conseguir la mejor regularidad superficial posible, durante el extendido de la mezcla se debe prestar especial atención y cuidado para que se cumplan los factores siguientes:

- Velocidad continua de la extendedora (evitar paradas).
- Alimentación continuada del aglomerado.
- Homogeneidad de la mezcla (granulométrica y térmica).
- Evitar los Impactos de los camiones sobre la extendedora.

Se han utilizado diversos procedimientos para conseguir, en el extendido de las mezclas bituminosas, el cumplimiento de alguno o de todos de estos factores. Los mejores resultados se han obtenido cuando se han utilizando dispositivos de transferencia de la mezcla bituminosa del camión de transporte a la extendedora.

Equipos de transferencia

Definición y tipos

A finales de los años ochenta en los equipos de puesta en obra de las mezclas bituminosas se empezó a utilizar en Estados Unidos un dispositivo mecánico automóvil diseñado para desplazarse entre el camión que transporta la mezcla bituminosa y la extendedora y que permitía pasar la mezcla de uno a otro sin contacto entre ellos, denominándose dispositivo de transferencia. Inicialmente el objetivo de estos dispositivos era facilitar el extendido de la mezcla bituminosa, evitando paradas de la extendedora durante el cambio de los camiones de transporte, eliminando también el impacto entre ambos vehículos en la aproximación y tratando de conseguir un cierto remezclado de la mezcla en caliente, para evitar segregaciones.

Así pues y de forma general se puede definir equipo de transferencia como todo dispositivo móvil que se sitúa entre la extendedora y el camión de transporte de la mezcla bituminosa para independizar el funcionamiento y el movimiento de ambas maquinas y que permite pasar dicha mezcla desde el vehículo de transporte a la extendedora de manera continua. En el proceso se consigue una cierta homogenización granulométrica y térmica de la mezcla en mayor o menor grado según el equipo de transferencia utilizado. Hay que tener mucho cuidado al elegir el dispositivo de transferencia pues, según la forma de funcionar, algunos no mejoran la homogeneidad granulométrica de la mezcla y lo que producen es una mayor heterogeneidad.

La utilización de estos dispositivos de transferencia, si cumplen unas ciertas condiciones de funcionamiento, permite mejorar sensiblemente la calidad de la mezcla bituminosa puesta en obra. Por este motivo, en los Artículos 542 y 543 del PG-3, actualizados en la Orden Circular 24/2008 de 31 de julio, en los apartados 542.4.3 y 543.4.3 relativos a las características mínimas que deberá cumplir el equipo de extendido, se prescribe, en cada uno de ellos, lo siguiente: *“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), sera perceptivo disponer, delante de la extendedora, de un equipo de transferencia autopropulsado de tipo silo móvil, que esencialmente garantice la homogeneidad granulométrica y además permita la uniformidad térmica y de las características superficiales”*. En el caso de las Mezclas Bituminosas para Capa de Rodadura, Mezclas Drenantes y Discontinuas (Artículo 543 del PG-3), esta prescripción es aplicable para las categorías de tráfico pesado T00 a T31.

Los dispositivos de transferencia que existen actualmente en el mercado se pueden clasificar en dos grandes grupos:

■ Tránsfer

Se trata de unos dispositivos que se sitúan entre el camión y la extendedora y que permiten regular en cierta medida la velocidad de la misma, al menos evitan paradas prolongadas entre camiones consecutivos, dan cierta continuidad a la alimentación y sobre todo eliminan el impacto del camión sobre la extendedora en la aproximación. En general apenas aportan homogeneidad granulométrica a la mezcla (en algunos casos

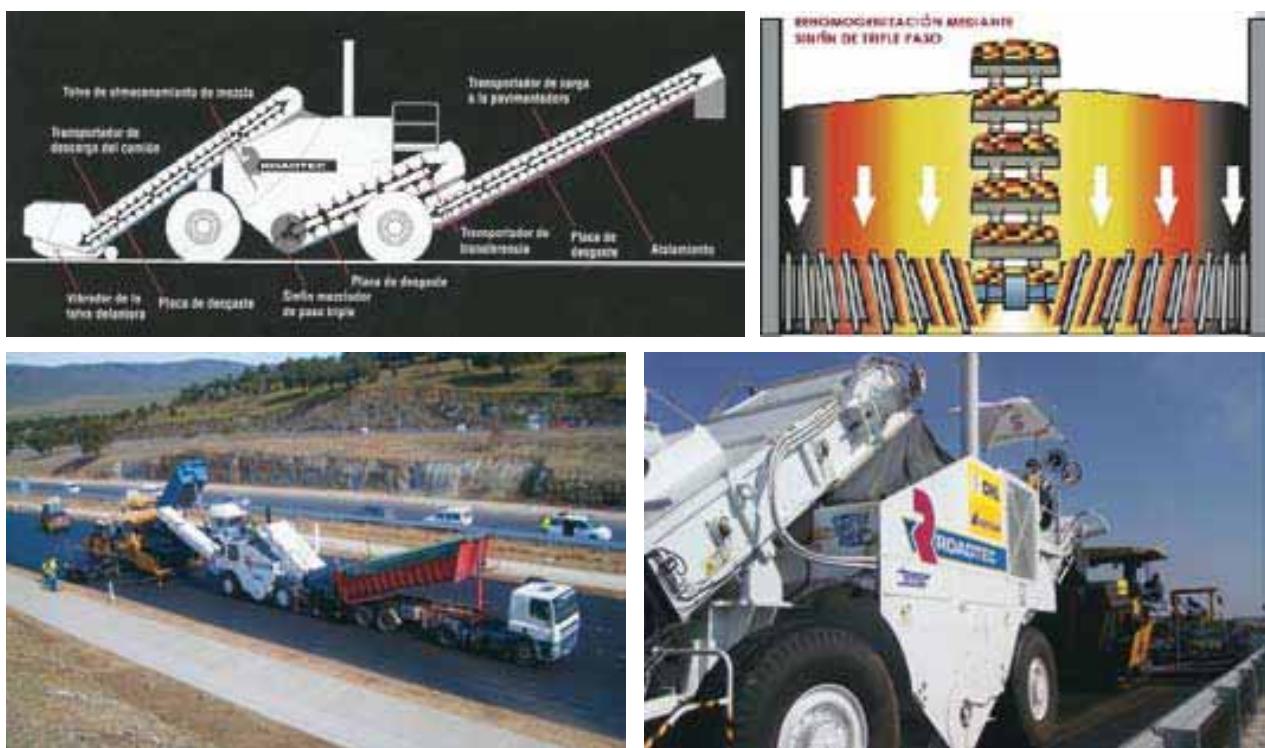
MEZCLAS BITUMINOSAS



aumentan la heterogeneidad) y desde luego no consiguen homogenización térmica alguna de la misma. A continuación se muestran algunos tipos de transfer del mercado.

■ Silo móvil

Este dispositivo realiza las mismas funciones que el TRANSFER en cuanto a permitir el vertido de la mezcla bituminosa en la extendedora desde el camión de transporte sin existir contacto físico entre ambas maquinas, pero además tiene otras características importantes

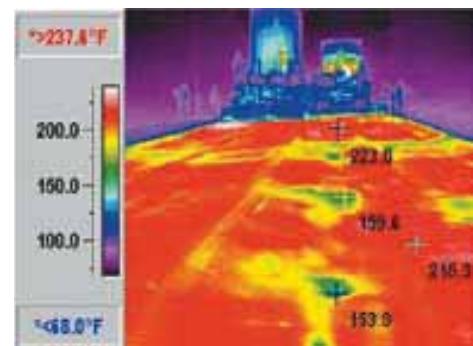


siendo la más destacable su capacidad de almacenar entre 20 y 25 toneladas de mezcla en caliente. Este almacenamiento aporta una primera ventaja en cuanto a permitir una cierta rehomogenización térmica de la mezcla bituminosa. Por otro lado los silos móviles que hay en España disponen de un sistema de movimiento de la mezcla, mediante un sifón de triple paso, que proporciona a la mezcla movimientos en horizontal y en vertical simultáneos, remezclándola y logrando una buena homogenización granulométrica de la misma.

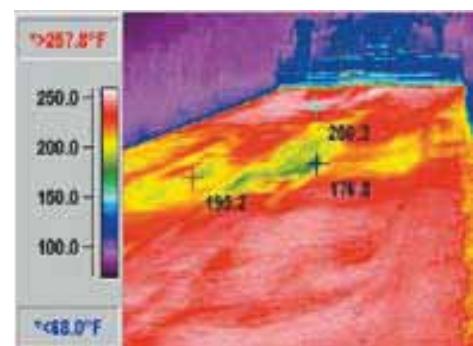
Los silos móviles de transferencia se diseñaron, inicialmente, para corregir las segregaciones que se producen, con cierta frecuencia, en las mezclas bituminosas en caliente durante los procesos de carga en la planta, transporte y vertido en la extendedora. Esta heterogeneidad granulométrica en la mezcla produce problemas de calidad y comportamiento mecánico en la capa construida por la presencia de zonas más permeables al agua lo que afecta a la capacidad resistente del firme y produce problemas de regularidad superficial en la capa de rodadura construida.

Por otro lado y mediante la utilización de cámaras termográficas se ha comprobado que, cuando se extiende la mezcla contenida en un camión, si existen zonas con mezcla más fría en el mismo, cosa bastante frecuente y normal especialmente en épocas climatológicamente frías, el paso del material por la extendedora y el reparto transversal con los sifones de la misma, no consiguen eliminar estas diferencias de temperaturas y se tiene una superficie, previa a la compactación, formada por zonas con diferentes temperaturas. Este problema puede no tener importancia cuando las diferencias son pequeñas. El problema es más grave cuando aparecen diferencias de algunas decenas de grados y el tema es realmente grave cuando existen zonas cuya temperatura es inferior a la mínima de compactación.

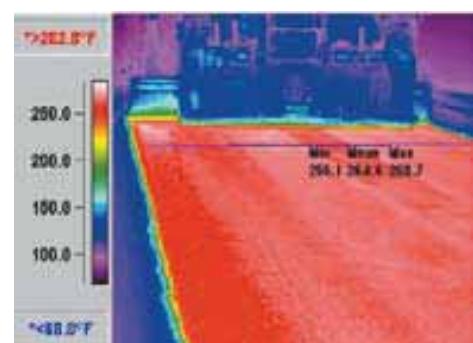
En un estudio realizado por el Departamento de Transportes de Washington, en el año 2001, después de analizar la influencia en las características mecánicas de una capa de mezcla bituminosa en caliente que presentaba diferencias de temperatura entre distintas zonas de la misma antes de la compactación, los resultados obtenidos se pueden resumir en la Tabla siguiente:



Extendido convencional.
Diferencias de temperatura: 39° C



Extendido con transfer que no homogeniza las temperaturas.
Diferencias de temperatura: 41°C



Extendido con silo móvil.
Diferencias de temperatura: 7° C

MEZCLAS BITUMINOSAS

Segregación térmica (°C)	< 10	10 - 16	17 - 21	> 21
Calificación	NULA	BAJA	MEDIA	ALTA
Reducción vida por fatiga (%)	N/A	38	80	99
Aumento % de huecos	N/A	2,5 – 4,5	4,5 – 6,5	> 6,5
Resistencia en seco (%)	110	90 - 100	50 - 80	30 - 50
Resistencia en húmedo (%)	80 - 90	75	50	30

El citado Departamento de Transportes de Washington estimó en un 35% el ahorro anual en conservación como consecuencia de eliminar, antes de la compactación, las segregaciones térmicas de las mezclas bituminosas en caliente en el proceso de su puesta en obra.

El silo móvil de transferencia, además de permitir una alimentación continuada de la extendedora, consiguiendo un movimiento continuo y constante de la misma y de eliminar el impacto del camión sobre la extendedora en los casos de descarga directa, movimiento que suele originar pequeños desplazamientos de la regla de extendido y los consiguientes problemas en la regularidad superficial, presenta las ventajas siguientes:

- Permite almacenar una cierta cantidad de mezcla bituminosa en caliente, llegando hasta 45 toneladas conjuntamente con la tolva suplementaria colocada sobre la extendedora. Esto minimiza el riesgo de parada de la extendedora, permite que el silo actúe como vehículo móvil lanzadera entre la misma y el camión, situación muy útil en caso de zonas con galibio limitado o con peraltes muy fuertes pues permite descargar el camión en el silo móvil en una zona sin estas limitaciones y desplazarse hasta la extendedora.
- Por sus características, diseño y forma de funcionar, los silos móviles aseguran una elevada capacidad de remezclado, lo que permiten homogeneizar granulométrica y térmicamente la mezcla bituminosa.
- Permite descargar el camión en un tiempo de 2 a 3 minutos lo que supone organizar el transporte en una obra con un 20% menos de camiones para una misma producción.
- La cinta de descarga en la extendedora puede ser pivotante con una capacidad de giro de 120° lo que mejora sensiblemente las prestaciones del silo móvil. Por su gran velocidad de desplazamiento y por esta característica de la cinta, un mismo silo puede alimentar simultáneamente a dos extendedoras situadas en paralelo. Por otro lado, también permite alimentar a una extendedora desde una posición lateral lo que puede ser muy útil en condiciones de trabajo donde la aproximación a la extendedora por su frente no sea posible o muy dificultosa.

Análisis económico

La utilización de dispositivos de transferencia supone una economía importante tanto para la Administración propietaria de la obra como para el Contratista ejecutor de la misma.

EQUIPOS DE TRANSFERENCIA Y EXIGENCIAS DE REGULARIDAD

Para la Administración la economía se produce desde dos aspectos diferentes. Por un lado con la mejora en la calidad de la mezcla bituminosa en caliente en cuanto a su homogenización tanto granulométrica como térmica. Cuando existen zonas, en la capa de mezcla bituminosa en caliente extendida, con diferentes temperaturas antes de compactar, las zonas con temperaturas mas bajas presentan, una vez finalizada la compactación, problemas de fatiga a corto plazo, tienen mayor contenido en huecos y pueden facilitar la entrada de agua a las capas inferiores del firme y hay una disminución considerable de las resistencias tanto en seco como en húmedo. La vida útil del firme así construido es menor y requiere la realización de trabajos de conservación mas a menudo, con el consiguiente mayor coste de mantenimiento.

Ya se ha indicado anteriormente que el Departamento de Transportes de Washington ha estimado en un 35% el ahorro anual en conservación como consecuencia de eliminar, antes de la compactación, las segregaciones térmicas de las mezclas bituminosas en caliente en el proceso de su puesta en obra.

El otro aspecto, también muy importante, que produce economía para la Administración, es la influencia que la utilización de dispositivos de transferencia tiene en la regularidad superficial de la capa de firme construida. Como se ha indicado anteriormente, la utilización de estos dispositivos elimina la mayoría de los factores que intervienen en la puesta en obra de una mezcla bituminosa y que influyen negativamente en la regularidad superficial que se consigue. Es conocida la influencia de la regularidad superficial en los vehículos, en los usuarios y en la carretera.

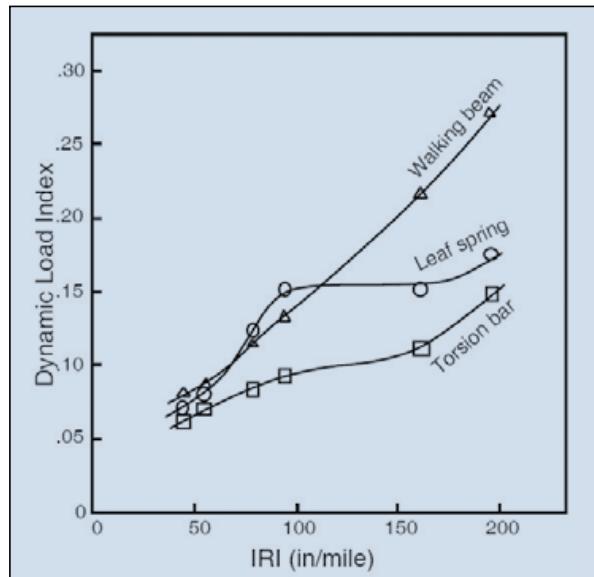
En efecto, una mala regularidad superficial produce unos movimientos verticales del vehículo, que pueden verse incrementados por unas acceleraciones verticales según la forma de las irregularidades. Estos movimientos indeseables producen en el vehículo un desgaste mecánico anormal, un mayor consumo de combustible y una disminución de la adherencia del vehículo con el pavimento.

Para los ocupantes del vehículo significan una incomodidad, que puede afectar en mayor o menor medida a la seguridad como consecuencia del cansancio, especialmente del conductor, y la



MEZCLAS BITUMINOSAS

perdida de la atención necesaria en el manejo del vehículo. Esta circunstancia es tanto más grave cuanto mayor sea la velocidad del vehículo. Es decir, afecta claramente a la seguridad vial y una buena regularidad superficial puede reducir los accidentes y sus elevados costes.



Por ultimo, sobre la carretera y en concreto sobre el firme de la misma, estos movimientos verticales producen unas acciones dinámicas que incrementan las cargas estáticas verticales de los vehículos, que pueden reducir de manera considerable la vida útil del firme, exigiendo unas inversiones en conservación mayores y más frecuentes.

Estudios realizados en Estados Unidos en los años noventa, analizando mas de 400 carreteras, llegaron a valorar el incremento del coste de conservación de los firmes en función de la regularidad superficial existente. En la Tabla adjunta se recogen los resultados de este estudio. Los costes están expresados en dólares.

MANTENIMIENTO		
Rugosidad inicial	Costo promedio anual por carril	Ahorro promedio anual por carril
IRI m/km	US\$/km	US\$
1,563	590	0
1,507	416	174
1,451	273	316
1,395	162	428
1,338	81	508
1,282	32	558

fundamentalmente por la continuidad en el extendido. En el calculo del coste hay que tener en cuenta que, esta mayor producción, exige disponer de un mayor numero de compactadores para asegurar la correcta compactación de toda la superficie extendida antes de alcanzar la temperatura mínima de compactación.

- Cuando el dispositivo utilizado sea de tipo silo móvil, la posibilidad de descargar el camión en un tiempo entre 2 y 3 minutos, reduce el ciclo completo del mismo y permite reducir el numero de camiones (como mínimo el 20%) necesarios para una misma producción de mezcla bituminosa.

- *También en el caso de disponer de un silo móvil, la versatilidad de este dispositivo y su movilidad, permite la puesta en obra de la mezcla bituminosa en caliente en mejores condiciones y con altos rendimientos en algunos casos especiales como son los túneles, las curvas con elevado peralte, las superficies de longitud corta o con obstáculos intermedios, etc., es decir, en todos aquellos casos que el acceso del camión directamente a la extendedora es complicado o incluso imposible y que requiere movimientos lentos de la maquina o transportes con vehículos mas pequeños, lo que reduce el rendimiento y aumenta el coste de puesta en obra.*

CONCLUSIONES

- La evolución y crecimiento del parque automovilístico español y la importante mejora de las redes de carreteras de todas las Administraciones con responsabilidad en las mismas, han exigido prestar cada vez una mayor atención al concepto de regularidad superficial de un pavimento. Siempre se ha exigido y controlado esta característica en la capa de rodadura de un firme, pero su cada vez mayor influencia en la seguridad y comodidad de los usuarios, en la vida útil del firme y en el comportamiento y consumos de los vehículos, han puesto de relieve su importancia y las exigencias mínimas para esta característica superficial del pavimento. Una cierta compensación económica por conseguir reducir sensiblemente los valores mínimos establecidos para el IRI en la normativa vigente, esta ya establecido por algunas Administraciones (Artículos 542 y 543 del vigente PG-3). Igualmente están establecidas penalizaciones económicas o constructivas cuando se incumplen dichos valores mínimos del IRI.
- La utilización de dispositivos de transferencia de mezcla bituminosa aporta mejoras importantes a la puesta en obra de las mismas. Por este motivo se esta generalizando en España la exigencia de su utilización a nivel de normativa, como es el caso de los Artículos 542 y 543 del vigente Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3) o bien a nivel de Pliegos de Cláusulas Administrativas Particulares, como es el caso de varias Comunidades Autónomas (Andalucía, Baleares, etc.) o de las Subastas con procedimiento de Adjudicación Restringido de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento que, entre los criterios de valoración que se incluyen para la selección de empresas, figura el siguiente: *“Compromiso fehaciente de puesta a disposición de un equipo de transferencia de mezcla bituminosa, a disposición de toda la obra, que asegure su remezclado y rehomogenizacion, antes de la descarga en la extendedora, con una antigüedad no superior a 6 años”*.
- Es importante destacar que estos dispositivos no deben limitarse a ser exclusivamente un elemento a situar entre la extendedora y el camión para dar continuidad al extendido y evitar el impacto del camión sobre la extendedora en la aproximación a la misma. Debe exigirse, como se recoge en el párrafo anterior del Pliego de Subastas Restringidas, su capacidad para remezclar y rehomogeneizar granulométrica y térmicamente la mezcla

MEZCLAS BITUMINOSAS

bituminosa en caliente, antes de su extensión sobre la superficie a pavimentar. Esta homogenización es muy importante pues influye en la calidad de la mezcla terminada, en la seguridad y comodidad de los usuarios y en la vida útil del firme construido.

- El criterio que se ha establecido para exigir su utilización viene recogido en los Artículos 542 y 543 del PG-3, actualizados en la Orden Circular 24/2008 de 31 de julio, en los apartados 542.4.3 y 543.4.3 relativos a las características mínimas que deberá cumplir el equipo de extendido de mezcla bituminosa, donde se prescribe, en cada uno de ellos, lo siguiente: *“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 perceptivo disponer, delante de la extendedora, de un equipo de transferencia autopropulsado de tipo silo móvil, que esencialmente garantice la homogeneidad granulométrica y además permita la uniformidad térmica y de las características superficiales”*. En el caso de las Mezclas Bituminosas para Capa de Rodadura, Mezclas Drenantes y Discontinuas (Artículo 543 del PG-3), esta prescripción es aplicable para las categorías de tráfico pesado T00 a T31.