

## **ARTÍCULO 452 - 07**

### **MEZCLA DISCONTINUA EN CALIENTE PARA CAPA DE RODADURA (MICROAGLOMERADO EN CALIENTE)**

#### **452.1 DESCRIPCIÓN**

Este trabajo consiste en la elaboración, transporte, colocación y compactación de una capa de mezcla asfáltica de tipo discontinuo para capa de rodadura, preparada y colocada en caliente sobre un pavimento existente, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos o determinados por el Interventor.

#### **452.2 MATERIALES**

##### **452.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral**

Los agregados pétreos y el llenante mineral para la elaboración de mezclas discontinuas en caliente deberán satisfacer los requisitos de calidad impuestos para ellos en el numeral 400.2.1 del Artículo 400.

Los agregados pétreos no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente se puedan dar en la zona de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua.

El Constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, deberá realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exigen en estas especificaciones.

El equivalente de arena que se exige en la Tabla 400.1 será el del agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones (incluido el llenante mineral), según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo y antes de pasar por el secador de la planta mezcladora. En caso de que no se cumpla el valor mínimo señalado en la Tabla 400.1, el agregado se aceptará si su equivalente de arena, medido en las mismas condiciones, es superior a 40 y, simultáneamente, el valor de azul de metileno, determinado mediante la norma de ensayo INV E-235, es inferior a diez (10).

El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no podrá exceder de diez por ciento (10 %) de la masa total del agregado combinado, cuando el tránsito de diseño sea NT3, ni exceder de veinte por ciento (20 %) para tránsitos de menor intensidad. En todo caso, la proporción de agregado fino no triturado no podrá exceder la del agregado fino triturado empleado en la mezcla.

El llenante mineral podrá proceder de los agregados pétreos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la planta mezcladora, o aportarse a la mezcla por separado de aquellos como un

producto comercial o especialmente preparado para este fin. La proporción de llenante mineral de aporte deberá ser como mínimo de cincuenta por ciento (50 %) respecto de la masa del llenante total, excluido el que inevitablemente quede adherido a los agregados. Este último, no podrá exceder de dos por ciento (2%) de la masa de la mezcla, salvo que el Interventor confirme que cumple las mismas condiciones que el exigido como aporte.

El conjunto de agregado grueso, agregado fino y llenante mineral deberá ajustarse a alguna de las gradaciones fijadas en la Tabla 452.1.

Tabla 452.1  
Franjas granulométricas para mezclas discontinuas en caliente  
para capa de rodadura

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA			
NORMAL	ALTERNO	M-1	M-2	F-1	F-2
12.5 mm	1/2"	100		100	
9.5 mm	3/8"	75-97	100	75-97	100
8.0 mm	5/16"	-	75-97	-	75-97
4.75 mm	No.4	15-28	15-28	25-40	25-40
2.00 mm	No.10	11-22	11-22	18-32	18-32
425 µm	No.40	8-16	8-16	10-20	10-20
75 µm	No.200	5-8	5-8	7-10	7-10

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Constructor deberá dar lugar a una curva granulométrica sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

La franja por utilizar será la indicada en los documentos técnicos del proyecto.

#### 452.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar la mezcla discontinua en caliente será cemento asfáltico modificado con polímeros, que corresponda a los tipos II o III de la Tabla 400.4 del Artículo 400. El tipo por utilizar, será el definido en los documentos técnicos del proyecto.

#### 452.2.3 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, se deberán ajustar a lo descrito en el numeral 400.2.7 del Artículo 400 y en el Artículo 412 de las presentes especificaciones. La dosificación y dispersión homogénea del aditivo, deberán tener la aprobación del Interventor.

El Constructor deberá garantizar que su incorporación no producirá ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento, que se derive del empleo del aditivo, será de responsabilidad exclusiva del Constructor,

quien deberá efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a satisfacción de éste.

### **452.3 EQUIPO**

Al respecto, se aplica lo indicado en el numeral 400.3 del Artículo 400. En relación con el detalle del equipo necesario para la ejecución de los trabajos, se tendrá en cuenta lo que se indica a continuación.

#### **452.3.1 Equipo para la elaboración de agregados triturados**

Rige lo indicado en el numeral 440.3.1 del Artículo 440.

#### **452.3.2 Planta mezcladora**

En relación con la planta mezcladora, se aplica todo lo indicado en el numeral 450.3.2 del Artículo 450.

#### **452.3.3 Equipo para el transporte de agregados y mezclas**

Se aplica todo lo mencionado en el numeral 450.3.3 del Artículo 450.

#### **452.3.4 Equipo para la transferencia de la mezcla (Shuttle buggy)**

Rige lo descrito en el numeral 450.3.4 del Artículo 450.

#### **452.3.5 Equipo para la extensión de la mezcla**

Rige lo indicado en el numeral 440.3.5 del Artículo 440. Adicionalmente, la máquina pavimentadora deberá estar dotada de un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal.

Dada la importancia que tiene el riego de liga en la construcción de este tipo de capa de rodadura, es altamente recomendable que la máquina pavimentadora esté provista, también, de un sistema de riego incorporado a ella, que garantice una aplicación continua y uniforme del mismo.

#### **452.3.6 Equipo de compactación**

Se deberán utilizar compactadores de rodillos metálicos autopropulsados y sin vibración. El equipo de compactación será aprobado por el Interventor, a la vista de los resultados obtenidos en la fase de experimentación. Todos los compactadores deberán estar dotados de inversores de marcha suaves, así como de dispositivos para la limpieza de los rodillos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

Los rodillos metálicos no deberán presentar surcos ni irregularidades. Las presiones de contacto de los diversos compactadores, serán las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir roturas del agregado ni arrollamientos de la mezcla a la temperatura de compactación.

En zonas inaccesibles a estos equipos, se deberán utilizar elementos de características apropiadas para lograr en dichas zonas una compacidad y un terminado superficial semejantes al resto de la obra.

#### **452.3.7 Equipo accesorio**

Estará constituido por elementos para limpieza, preferiblemente barredora o sopladora mecánica, siempre que su uso sea permitido por las autoridades ambientales. Así mismo, se requieren herramientas menores para efectuar correcciones localizadas durante la extensión de la mezcla, termómetros para controlar su temperatura, etc.

### **452.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS**

#### **452.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados**

Rige lo indicado en el numeral 400.4.1 del Artículo 400.

#### **452.4.2 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo**

Rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.2 del Artículo 400.

Las mezclas discontinuas en caliente se diseñarán en función del tipo de granulometría del agregado, siguiendo los criterios que se describen a continuación.

##### **452.4.2.1 Diseño de mezclas discontinuas tipo M**

Las mezclas discontinuas tipo M se diseñarán a partir del ensayo Cántabro descrito en la norma de ensayo INV E-760. La temperatura de elaboración de la mezcla deberá corresponder, en principio, a una viscosidad del ligante asfáltico comprendida entre ciento cincuenta y ciento noventa centistokes (150 cSt–190 cSt), debiendo verificarse que no se produzca escurrimiento del ligante a dicha temperatura.

Los vacíos con aire de la mezcla compactada se deberán calcular como se indica en la norma de ensayo INV E-736.

Los criterios de dosificación de estas mezclas son los indicados en la Tabla 452.2.

Tabla 452.2  
Criterios de dosificación para mezclas discontinuas tipo M

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>NORMA DE ENSAYO INV</b>	<b>VALOR</b>
Número de golpes por cara	E-760	50
Pérdida por abrasión en seco (%)	E-760	15 máx.
Vacíos con aire en la mezcla compactada (%)	E-736	12 mín.

Cumplidos los requisitos de la Tabla 452.2, se deberá comprobar, además, la adhesividad entre el agregado y el ligante, caracterizando la mezcla en presencia de agua. Al efecto, la pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro, según la norma de ensayo INV E-760, tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión en agua durante veinticuatro horas (24 h) a sesenta grados Celsius (60°C), no podrá exceder de veinticinco por ciento (25 %). Si se supera este valor, se deberá mejorar la adhesividad mediante un aditivo mejorador de adherencia apropiado.

#### 452.4.2.2 Diseño de mezclas discontinuas tipo F

Las mezclas discontinuas tipo F se prepararán y ensayarán de acuerdo con el método Marshall, según la norma de ensayo INV E-748, aplicando 50 golpes por cara para la compactación de las probetas. Los vacíos con aire de la mezcla compactada se deberán calcular como se indica en la norma INV E-736. Los criterios de dosificación son los indicados en la Tabla 452.3.

Tabla 452.3  
Criterios de dosificación para mezcla discontinuas tipo F

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	VALOR
Número de golpes por cara	E-748	50
Estabilidad (kg)	E-748	750 mín.
Vacíos con aire (%)	E-736	4 mín.

La mezcla óptima diseñada con el método Marshall deberá ser verificada con la medida de su resistencia a la deformación plástica, mediante la pista de ensayo de laboratorio, según la norma de ensayo INV E-756. Las probetas para ensayo deberán tener un espesor aproximadamente igual al cuádruple del tamaño máximo nominal del agregado pétreo. La velocidad de deformación en el intervalo de ciento cinco (105) a ciento veinte (120) minutos no podrá ser mayor de 12  $\mu\text{m}/\text{min}$  para mezclas que se vayan a emplear en zonas donde la temperatura media anual sea superior a veinticuatro grados Celsius (24°C), ni mayor de 15  $\mu\text{m}/\text{min}$  para regiones con temperaturas hasta de veinticuatro grados Celsius (24°C). Si este requisito no se cumple, se deberán efectuar los ajustes necesarios en el diseño de la mezcla.

Obtenida una mezcla que cumpla con los requisitos de la Tabla 452.3 y de resistencia a la deformación plástica, se deberá comprobar, además, la adhesividad entre el agregado y el ligante, caracterizando la mezcla en presencia de agua. Al efecto, la resistencia promedio a tracción indirecta de las probetas sometidas a curado húmedo deberá ser, cuando menos, ochenta por ciento (80%) del valor promedio alcanzado por las probetas curadas en condición seca, al ser sometidas al ensayo INV E-725. Si no se alcanza este valor, se deberá incrementar la adhesividad empleando un aditivo mejorador de adherencia apropiado.

#### 452.4.2.3 Composición de la mezcla

La relación en peso llenante/ligante efectivo de la mezcla óptima se deberá encontrar entre doce y catorce décimas (1.2 – 1.4) en las mezclas del tipo M y entre catorce y diez y ocho décimas en las tipo F (1.4 – 1.8).

Así mismo, la composición de la mezcla discontinua en caliente se deberá ajustar a lo establecido en la Tabla 452.4.

Tabla 452.4  
Composición de las mezclas discontinuas en caliente  
para capa de rodadura

CARACTERÍSTICA		TIPO DE MEZCLA			
		M-1	M-2	F-1	F-2
Cantidad media de mezcla (kg/m <sup>2</sup> )		55-70	35-50	65-80	40-55
Ligante residual (% en peso sobre el agregado seco)		5.0 mín.		5.5 mín.	
Ligante residual en el riego de liga (kg/m <sup>2</sup> )	Pavimento nuevo	0.3 mín.		0.25 mín.	
	Pavimento antiguo	0.4 mín.		0.35 mín.	

#### 452.4.2.4 Verificación y ajuste de la fórmula de trabajo

La mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura no se podrá fabricar a escala industrial, mientras el Interventor no haya aprobado la fórmula de trabajo y realizado las verificaciones y ajustes correspondientes en la fase de experimentación, en particular respecto de la cantidad media de mezcla por aplicar para obtener el espesor compacto establecido en los documentos técnicos del proyecto. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan de manera frecuente las tolerancias granulométricas establecidas en este Artículo, se requerirá el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

#### 452.4.3 Preparación de la superficie existente

La mezcla no se extenderá hasta que se compruebe que la capa sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y su superficie presente las cotas indicadas en los planos o definidas por el Interventor. Todas las irregularidades que excedan de las tolerancias establecidas en la especificación respectiva, deberán ser corregidas de acuerdo con lo establecido en ella.

No se permitirá la colocación de la mezcla discontinua en caliente mientras el Interventor no certifique que la capa sobre la cual se va a colocar es estructuralmente sana y presenta una regularidad superficial aceptable.

Las áreas de la superficie existente donde se formen charcos en instantes de lluvia, requieren una capa de mezcla densa de nivelación antes de que se permita la extensión de la mezcla discontinua.

Debido al pequeño espesor en que son puestas en obra las mezclas discontinuas en caliente, ellas resultan propensas a despegues por los esfuerzos tangenciales del tránsito. Por tal razón, la extensión de la mezcla exige la aplicación cuidadosa de un riego previo de liga, el cual se realizará conforme lo establece el Artículo 421 de las presentes especificaciones, empleando una emulsión

asfáltica modificada con polímeros del tipo CRR-2m, de las características establecidas en el Artículo 400 y con la dosificación indicada en el numeral 452.4.2.3 del presente Artículo.

Para garantizar la efectividad del riego de liga, es recomendable que la máquina pavimentadora esté provista de un sistema de riego incorporado a ella. Si no se dispone de dicho equipo, el riego se podrá aplicar con un carrotanque, cuidando que no se degrade antes de la extensión de la mezcla. En caso de que el riego pierda efectividad, el Constructor deberá efectuar un riego adicional, en la cuantía que fije el Interventor. Si la pérdida de efectividad del primer riego es imputable al Constructor, el nuevo riego deberá realizarlo a su costa.

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer el nivel actual, se ejecutarán de acuerdo con las indicaciones del Artículo 465 para la excavación y de los Artículos que correspondan a los materiales empleados en el relleno de la misma.

Si la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que, de acuerdo con los estudios del proyecto o el criterio del Interventor, requiere un fresado previo, éste se realizará conforme se establece en el Artículo 460 de estas especificaciones.

#### **452.4.4 Fase de experimentación**

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del Artículo 400.

#### **452.4.5 Aprovisionamiento de los agregados**

Los agregados se suministrarán fraccionados y se manejarán separados hasta su introducción en las tolvas en frío. El número de fracciones deberá ser tal, que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción será suficientemente homogénea y se deberá poder acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación. En el caso de plantas asfálticas del tipo tambor secador-mezclador, no se permitirá, por ningún motivo, realizar una predosificación de las fracciones de agregados antes de su vertimiento a las tolvas de agregados en frío.

Cada fracción del agregado se acopiará separada de las demás, para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a un metro y medio (1.5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se acopiarán por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado.

#### **452.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica**

La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el cincuenta por ciento (50%) y el cien por ciento (100%) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se regularán en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de obra de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se regulará de acuerdo con la producción prevista, debiéndose mantener constante la alimentación del secador.

Los agregados se calentarán antes de su mezcla con el asfalto. El secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. Siempre que se presenten síntomas de avería en el sistema de combustión; si la combustión es incompleta o si se advierte alguna contaminación por combustible en los agregados o en la mezcla, se detendrá la producción hasta que se identifiquen y corrijan las causas del problema.

Si el polvo mineral recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al llenante y su utilización está prevista, se podrá introducir en la mezcla; en caso contrario, se deberá eliminar. El tiro de aire en el secador se deberá regular de forma adecuada, para que la cantidad y la granulometría del llenante recuperado sean uniformes. La dosificación del llenante de recuperación y/o el de aporte se hará de manera independiente de los agregados y entre sí.

En las plantas de tipo discontinuo, se deberá comprobar que la unidad clasificadora en caliente proporcione a las tolvas en caliente agregados homogéneos; en caso contrario, se tomarán las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad.

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se pesarán exactamente y se transportarán al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Después de haber introducido en el mezclador los agregados y el llenante, se agregará automáticamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual se deberá encontrar a la temperatura adecuada, y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

La temperatura del material bituminoso en el instante de la mezcla depende de su relación viscosidad-temperatura, siendo una temperatura conveniente aquella a la cual el ligante presenta una viscosidad entre ciento cincuenta y trescientos centistokes (150 cSt – 300 cSt) y, preferiblemente, entre ciento cincuenta y ciento noventa centistokes (150 cSt – 190 cSt).

En ningún caso se introducirá en el mezclador el agregado caliente a una temperatura superior en más de quince grados Celsius (15°C) a la temperatura del asfalto. La temperatura de elaboración de la mezcla se fijará dentro del rango recomendado por el fabricante del cemento asfáltico modificado con polímeros.

La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador no será mayor de ciento ochenta grados Celsius (180°C), excepto si la planta utilizada es del tipo tambor secador-mezclador, en la que no excederá de ciento sesenta y cinco grados Celsius (165°C). Para las mezclas del tipo M, estos límites deberán ser reducidos en diez grados Celsius (10°C) para prevenir escurrimientos de ligante asfáltico.

El volumen de materiales en el mezclador no será tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando éstas se encuentren en posición vertical, siendo recomendable que no superen los dos tercios (2/3) de su altura. Todos los tamaños del agregado deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas de ligante. La



temperatura de la mezcla recién elaborada no excederá de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

En caso de utilizar adiciones al ligante o a la mezcla, se cuidará su correcta dosificación y su distribución homogénea, así como la conservación de sus características iniciales durante el proceso de fabricación.

Se rechazarán todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de contaminación o de humedad. En este último caso, se retirarán los agregados de las correspondientes tolvas en caliente cuando la planta sea de tipo discontinuo. También, se rechazarán aquellas mezclas en las que la envuelta no sea perfecta.

#### **452.4.7 Transporte de la mezcla**

Rige lo descrito en el numeral 450.4.7 del Artículo 450.

#### **452.4.8 Transferencia de la mezcla**

Se aplica lo indicado en el numeral 450.4.8 del Artículo 450.

#### **452.4.9 Extensión de la mezcla**

La mezcla recibida de la volqueta o de la máquina de transferencia será extendida con máquinas pavimentadoras, de modo que se cumplan los alineamientos, anchos y espesores señalados en los planos o determinados por el Interventor.

A menos que el Interventor expida una instrucción en contrario, la extensión se realizará en franjas longitudinales y comenzará a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas. Siempre que resulte posible, se evitarán las juntas longitudinales realizando la extensión en ancho completo, trabajando si es necesario con dos (2) o más pavimentadoras ligeramente desfasadas. Si por razones prácticas de la obra ello no resulta posible, después de haber extendido y compactado una franja, se extenderá la siguiente mientras el borde de la anterior aún se encuentre caliente y en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se ejecutará una junta longitudinal.

La pavimentadora se regulará de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin segregaciones ni arrastres, y con un espesor tal que, luego de compactada, se ajuste a la rasante y a la sección transversal indicadas en los planos, con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se permitirá el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se permitirá la segregación de la mezcla. Si ella ocurre, su extensión deberá ser suspendida inmediatamente, hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación, deberá ser removida y reemplazada con una mezcla adecuada, a expensas del Constructor.

La colocación de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la pavimentadora a la producción de la planta asfáltica, de manera que aquélla sufra el menor número posible de detenciones.

En caso de trabajo intermitente, se comprobará que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva o bajo la pavimentadora no baje de la especificada para el inicio de la compactación; de lo contrario, se deberá ejecutar una junta transversal.

En los sitios en los que a juicio del Interventor no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla se podrá extender a mano. La mezcla se descargará fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y distribuirá en los lugares correspondientes mediante procedimientos aprobados por aquel, en una capa uniforme y de espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a los planos o instrucciones del Interventor, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

#### **452.4.10 Compactación de la mezcla**

La compactación se realizará según el plan aprobado por el Interventor como resultado de la fase de experimentación. Deberá comenzar, una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan desplazamientos indebidos, y se continuará mientras la mezcla esté en condiciones de ser compactada. El número de pasadas del rodillo liso sin vibración no será menor de seis (6).

La compactación se realizará longitudinalmente de manera continua y sistemática. Deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aprobada por el Interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Si la extensión de la mezcla se ha realizado por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el Interventor, y sus cambios de dirección se harán sobre la mezcla ya compactada. Los elementos de compactación deberán estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos. No se permitirán, sin embargo, excesos de agua.

Se tendrá cuidado al compactar para no desplazar los bordes de la mezcla extendida; aquellos que formarán los bordes exteriores del pavimento serán ligeramente chaflanados.

La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se complementará con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar.

La temperatura de la mezcla se deberá verificar al inicio y al final del proceso de compactación.

#### **452.4.11 Juntas de trabajo**

Si la construcción de juntas longitudinales es inevitable y al extender franjas contiguas la extendida en primer lugar tiene una temperatura inferior a la mínima aceptable para terminar el trabajo de pavimentación, según se haya determinado en la fase de experimentación, el borde de ésta se deberá cortar dejando al descubierto una superficie plana y vertical en todo su espesor, procediendo a continuación a aplicar una capa uniforme y ligera de riego de liga y luego a calentar la junta y extender la siguiente franja contra ella.

Las juntas transversales se compactarán transversalmente, disponiendo los apoyos adecuados para los elementos de compactación. Las juntas transversales de franjas de extensión adyacentes se deberán distanciar, cuando menos, en cinco metros (5 m).

#### **452.4.12 Apertura al tránsito**

Alcanzado el nivel de compactación exigido, el tramo pavimentado se podrá abrir al tránsito tan pronto la capa alcance la temperatura ambiente.

#### **452.4.13 Limitaciones en la ejecución**

No se permitirá la extensión y compactación de la mezcla en momentos de lluvia, ni cuando haya fundado temor que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a ocho grados Celsius (8°C).

Los trabajos de construcción de la mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura se deberán efectuar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el Interventor podrá autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el Constructor garantice el suministro y operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquél. Si el Constructor no ofrece esta garantía, no se le permitirá el trabajo nocturno y deberá poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

#### **452.4.14 Manejo ambiental**

Al respecto, regirá todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del Artículo 400 de estas especificaciones.

#### **452.4.15 Reparaciones**

Rige lo especificado en el numeral 440.4.17 del Artículo 440.

### **452.5 CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS**

#### **452.5.1 Controles**

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del Artículo 400.

#### **452.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias**

##### **452.5.2.1 Calidad del ligante asfáltico**

A la llegada de cada carrotanque con cemento asfáltico modificado con polímeros al sitio de los trabajos, el Constructor deberá entregar al Interventor una certificación original, expedida por el fabricante del producto, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, el tipo de asfalto, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la

entrega, los cuales deberán satisfacer las condiciones especificadas en el numeral 400.2.3 del Artículo 400 de las presentes especificaciones.

El Interventor se abstendrá de aceptar el empleo de suministros de cemento asfáltico modificado con polímeros que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Además, efectuará las verificaciones exigidas en el numeral 414.5.2 del Artículo 414. En todos los casos, guardará una muestra para ensayos ulteriores de contraste, cuando el Constructor o el fabricante manifiesten inconformidad con los resultados iniciales.

En relación con los resultados de las pruebas, no se admitirá ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tabla 400.4 del Artículo 400 de las presentes especificaciones.

#### **452.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral**

Se deberán aplicar todas las exigencias del numeral 440.5.2.3 del Artículo 440.

#### **452.5.2.3 Composición de la mezcla**

A la salida del mezclador o del silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, el Interventor controlará el aspecto de la mezcla y medirá su temperatura. Rechazará todas las mezclas segregadas, carbonizadas o sobrecalentadas, así como las mezclas con espuma, aquellas cuya envuelta no sea homogénea y las que presenten indicios de humedad o de contaminación por combustible. En este último caso y cuando la planta sea de tipo discontinuo, se deberán retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Cuantitativamente, el Interventor realizará los siguientes controles:

##### **a. Contenido de asfalto**

Al respecto, se aplicarán los mismos criterios establecidos en el inciso a. del numeral 440.5.2.4 del Artículo 440 de las presentes especificaciones. De todas maneras, el contenido de ligante no podrá ser inferior al mínimo especificado en el numeral 452.4.2.3.

Para efectos del control, se considerará como lote el volumen de material que resulte de aplicar los criterios del numeral 452.5.2.5.

##### **b. Granulometría de los agregados**

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se determinará la composición granulométrica de los agregados.

La curva granulométrica de cada ensayo individual deberá ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 452.5, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

Tabla 452.5  
Tolerancias granulométricas de los agregados para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE % SOBRE EL PESO SECO DE LOS AGREGADOS
8.00 mm (5/16") y mayores	± 4
4.75 mm (No. 4) 2.00 mm (No. 10) 425 µm (No. 40)	± 3
75 µm (No. 200)	± 1

En el caso de que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el Constructor deberá preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. Ella se someterá a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 452.4.2 de esta especificación. Si los requisitos allí indicados no se cumplen, se rechazará el lote representado por esas muestras.

#### 452.5.2.4 Calidad de la mezcla

##### 452.5.2.4.1 Calidad de las mezclas tipo M

###### a. Vacíos con aire de probetas compactadas

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se moldearán probetas (tres por muestra), a la temperatura apropiada, para el ensayo Cántabro (INV E-760) y a ellas se les determinarán previamente los vacíos con aire. El valor promedio de los vacíos con aire de las seis probetas no podrá diferir en más de dos puntos porcentuales ( $\pm 2\%$ ) del definido al establecer la fórmula de trabajo y, simultáneamente, deberá ser mayor o igual que el límite que se establece en la Tabla 452.2, sin que ningún valor individual pueda ser inferior a diez por ciento (10 %).

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras, sin que haya necesidad de determinar su resistencia al desgaste.

###### b. Resistencia

Si el requisito sobre vacíos con aire se ha cumplido, con tres de las probetas se medirá la pérdida por abrasión en seco y con las otras tres se determinará la pérdida por abrasión luego de un período de inmersión en agua a sesenta grados Celsius (60°C) durante veinticuatro horas (24 h).

Los valores promedio de pérdida de ambos grupos deberán satisfacer los criterios descritos en el numeral 452.4.2. Ninguna de las probetas podrá presentar una pérdida mayor en veinte por ciento (20 %) de la máxima admisible para cada grupo.

Si uno o ambos requisitos se incumplen, se rechazará el lote representado por estas muestras.

#### **452.5.2.4.2 Calidad de las mezclas tipo F**

##### **a. Vacíos con aire de probetas compactadas**

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se compactarán probetas (dos por muestra), a la temperatura apropiada, con cincuenta (50) golpes/cara, para verificar en el laboratorio su resistencia en el ensayo Marshall (INV E-748).

A dichas probetas se les determinarán previamente los vacíos con aire. El valor promedio de los vacíos con aire de las cuatro probetas deberá ser mayor o igual que el límite que se establece en la Tabla 452.3, sin que ningún valor individual pueda ser menor de tres y medio por ciento (3.5 %).

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras, sin que sea necesario hacer verificaciones de resistencia.

##### **b. Resistencia**

Si el requisito sobre vacíos con aire se ha cumplido, se determinará la estabilidad Marshall de las cuatro (4) probetas. El promedio de sus estabilidades ( $E_m$ ) no podrá ser menor que el valor obtenido al establecer la fórmula de trabajo ( $E_t$ ).

$$E_m \geq E_t$$

Además, la estabilidad de cada probeta ( $E_i$ ) deberá ser igual o superior al noventa por ciento (90 %) del valor medio de estabilidad ( $E_m$ ), admitiéndose sólo un valor individual bajo de ese límite, siempre y cuando no se encuentre por debajo del valor mínimo admisible establecido en la Tabla 452.3 de este Artículo.

$$E_i \geq 0.9 E_m$$

El incumplimiento de al menos una de estas exigencias, implica el rechazo del lote representado por las muestras.

##### **c. Susceptibilidad a la humedad**

Las verificaciones y los criterios de aceptación o rechazo, son los mismos descritos en el inciso e. del numeral 450.5.2.4 del Artículo 450 de estas especificaciones.

#### **452.5.2.5 Calidad del producto terminado**

Se considerará como "lote" que se aceptará o rechazará en bloque, la menor área construida que resulte de los siguientes criterios:

- Quinientos metros lineales (500m) de mezcla discontinua en caliente colocada en el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m<sup>2</sup>) de mezcla discontinua en caliente colocada.

- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no podrá ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el Interventor. La cota de cualquier punto de la mezcla discontinua en caliente, compactada, no deberá variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, el Interventor estará obligado a efectuar las siguientes verificaciones:

### **a. Compactación**

Las determinaciones de densidad de la capa compactada se realizarán en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro.

#### **a.1 Mezclas tipo M**

En el caso de las mezclas tipo M, el porcentaje promedio de vacíos con aire en la mezcla no podrá variar en más de tres puntos porcentuales ( $\pm 3\%$ ) del obtenido en la fórmula de trabajo. Simultáneamente, no más de tres (3) individuos de la muestra ensayada podrán presentar valores que difieran en más de cuatro puntos porcentuales ( $\pm 4\%$ ) del obtenido en la fórmula.

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del Interventor. En caso de rechazo, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor, todo ello a cargo y costa del Constructor. El material fresado será de propiedad del Constructor.

#### **a.2 Mezclas tipo F**

El control de la compactación de las mezclas discontinuas en caliente del tipo F se realizará con el siguiente criterio:

Si  $D_m - (k_x s) \geq 0.97 \times D_e$  Se acepta el lote

Si  $D_m - (k_x s) < 0.97 \times D_e$  Se rechaza el lote

Siendo :

$D_m$ : Valor promedio de los resultados de los ensayos de densidad de la capa compactada, que integran la muestra que representa al lote.

$$D_m = \frac{\sum D_i}{n}$$

$D_i$  : Resultado de un ensayo.

$n$  : Número de ensayos que integran la muestra.

k : Factor que establece el límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad de 90%, se encuentra la densidad de la capa compactada. Este factor depende del número de ensayos (n) que integran la muestra y su valor se indica en la Tabla 452.6.

Tabla 452.6  
Valores del factor k

n	5	6	7	8	9	10
k	0.685	0.602	0.544	0.500	0.465	0.437

s : Desviación estándar de la muestra.

$$s = \sqrt{\frac{\sum (D_i - D_m)^2}{n - 1}}$$

D<sub>e</sub> : Valor promedio de la densidad bulk obtenida al compactar en el laboratorio, según la metodología de ensayo establecida en la norma INV E-748, las probetas que se indican en el numeral 452.5.2.4.2 de esta especificación. Tales probetas representan la mezcla del lote.

La toma de muestras testigo para la verificación de la densidad de las mezclas compactadas tipo F, se hará de acuerdo con la norma INV E-758 y las densidades se determinarán por alguno de los métodos indicados en las normas INV E-733 o E-734. Si se utiliza un equipo nuclear, se aplicará el procedimiento descrito en la norma INV E - 746. Este equipo sólo podrá ser utilizado si se garantiza, sin lugar a ninguna duda, que la medición del aparato abarca única y exclusivamente el espesor total de la capa que se está verificando.

En caso de rechazo, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor, todo ello a cargo y costa del Constructor. El material fresado será de propiedad del Constructor.

### b. Espesor

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el Interventor determinará el espesor medio de la capa compactada (e<sub>m</sub>), el cual no podrá ser inferior al de diseño (e<sub>d</sub>) :

$$e_m \geq e_d$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (e<sub>i</sub>), deberá ser, cuando menos, igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, admitiéndose sólo un valor por debajo de dicho límite:

$$e_i \geq 0.9 e_d$$



El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del Interventor. En caso de rechazo, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor, todo ello a cargo y costa del Constructor. El material fresado será de propiedad del Constructor.

**c. Lisura**

En relación con este aspecto, resultan aplicables los requisitos establecidos para capa de rodadura en el literal c. del numeral 440.5.2.6 del Artículo 440 de estas especificaciones.

**d. Textura**

Las medidas de textura se realizarán antes de la puesta en servicio de la capa, empleando el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos a controlar por lote será de tres (3), que se ampliarán a cinco (5) si la textura obtenida en uno de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se elegirán al azar, de acuerdo con la norma INV E-730. Después de diez (10) lotes consecutivos aceptados, el Interventor podrá reducir la frecuencia de los ensayos.

La profundidad media de textura del lote no podrá ser menor al mínimo admisible que corresponda en la Tabla 452.7, sin que ningún valor individual sea inferior en más de veinte por ciento (20%) al promedio mínimo exigido y sin que existan áreas con evidencias indudables de segregación.

Tabla 452.7  
Profundidad de textura y resistencia al deslizamiento mínimas admisibles para las mezclas discontinuas en caliente

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	TIPO DE MEZCLA	
		M	F
Profundidad de textura (valor mínimo) mm	E-791	1.5	1.1
Coefficiente de resistencia al deslizamiento (valor mínimo)	E-792	0.55 *	0.60

\* Para vías de tránsito NT3, se exigirá un mínimo de 0.60 en las secciones de vía para las cuales se exige dicho valor en la Tabla 440.6 del Artículo 440.

Si este requisito no se cumple, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor, todo ello a cargo y costa del Constructor, quedando el material fresado de propiedad de éste. Alternativamente y a opción del Constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, éste podrá colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo, a su costa, del mismo espesor compacto que la anterior, cumpliendo todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas será también de cuenta

del Constructor, quien deberá ejecutarlo con una emulsión modificada con polímeros, en acuerdo al Artículo 421 de estas especificaciones.

#### **e. Resistencia al deslizamiento**

Una vez transcurridos, como mínimo, treinta (30) días de la puesta en servicio de la capa de mezcla discontinua en caliente, se harán las determinaciones de la resistencia al deslizamiento.

Debido a que este parámetro se encuentra relacionado directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se elegirán al azar, sino que serán ubicados por el Interventor en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular en condición de superficie húmeda.

Las medidas se realizarán con el péndulo británico, en acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote, y ninguna de ellas podrá presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 452.7, de acuerdo con el tipo de mezcla. En caso de que se presenten valores menores, el Interventor realizará medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual deberá ser corregida por el Constructor, a su costa, bajo los mismos criterios exigidos en el inciso precedente para remediar los incumplimientos en cuanto a textura.

Se permite el empleo de otros dispositivos para verificar la resistencia al deslizamiento. En tal caso, la especificación particular indicará el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deberán ser, cuando menos, equivalentes a los indicados en el presente inciso para el péndulo británico.

#### **f. Regularidad superficial (rugosidad)**

Debido a su escaso espesor, las mezclas discontinuas en caliente no pueden corregir defectos asociados con la falta de regularidad del perfil longitudinal de la calzada. Por tal razón, no se permitirá la colocación de la mezcla en obra, hasta tanto no se garantice que la superficie de la capa sobre la cual se va a construir cumpla los requisitos que se exigen sobre IRI en el inciso e. del numeral 440.5.2.6 del Artículo 440 de estas especificaciones.

#### **g. Segregación térmica**

El Constructor deberá entregar al Interventor un registro fotográfico, tomado con cámara infrarroja, de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciadas.

Estas fotografías, que serán incluidas en el informe final de interventoría, servirán al Instituto Nacional de Vías como antecedente técnico si se presentan deterioros de la capa durante el período de garantía, como consecuencia de la segregación térmica durante su construcción.

Todas las áreas de mezcla discontinua en caliente colocada y compactada, donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deberán ser corregidas por el Constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a plena satisfacción de éste.

**452.6 MEDIDA**

Rige lo descrito en el numeral 400.6.2 del Artículo 400

**452.7 FORMA DE PAGO**

Rige lo descrito en el numeral 400.7.2 del Artículo 400.

**ÍTEM DE PAGO**

452.1	Mezcla discontinua en caliente tipo M-1	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
452.2	Mezcla discontinua en caliente tipo M-2	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
452.3	Mezcla discontinua en caliente tipo F-1	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
452.4	Mezcla discontinua en caliente tipo F-2	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )