

## **ARTÍCULO 450 - 07**

### **MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE (CONCRETO ASFÁLTICO Y MEZCLA DE ALTO MÓDULO)**

#### **450.1 DESCRIPCIÓN**

Este trabajo consiste en la elaboración, transporte, colocación y compactación, de una o más capas de mezcla asfáltica, preparada y colocada en caliente, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos o determinados por el Interventor.

Este Artículo se refiere a las mezclas asfálticas en caliente de tipo denso (MDC), semidenso (MSC) y grueso (MGC), diferenciadas por su granulometría de aplicación, como se define más adelante. Así mismo, comprende las mezclas en caliente de alto módulo (MAM), entendiéndose por tales aquellas cuyo módulo resiliente, medido por medio de la norma de ensayo INV E-749, a la temperatura y frecuencia definidas para el proyecto, sea igual o superior a diez mil megapascales (10.000 MPa).

El presente Artículo no comprende la “Mezcla Abierta en Caliente”, la “Mezcla Discontinua en Caliente para Capa de Rodadura”, ni la “Mezcla Drenante”, las cuales son objeto de los Artículos 451, 452 y 453, respectivamente, de las presentes especificaciones. Tampoco incluye las mezclas de “Reciclado en Caliente de Pavimento Asfáltico”, las cuales son consideradas en el Artículo 462.

Para los efectos del presente Artículo, las capas de mezcla asfáltica en caliente se denominarán rodadura, intermedia y base, según la posición descendente que ocupen dentro de la estructura del pavimento.

Los documentos del proyecto establecerán los tipos y calidades de las capas asfálticas que componen la estructura. Si la estructura tiene solamente una (1) capa asfáltica, ésta será rodadura; si tiene dos (2) capas asfálticas, éstas serán rodadura e intermedia; si tiene tres (3) o más capas asfálticas, la o las subyacentes a la intermedia recibirán el nombre de base.

#### **450.2 MATERIALES**

##### **450.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral**

Los agregados pétreos y el llenante mineral para la elaboración de las mezclas en caliente cubiertas por este Artículo 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.

Los agregados pétreos empleados para la ejecución asfáltica en caliente deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una película del material asfáltico por utilizar en el trabajo, ésta no se desprenda por la acción combinada del agua y del tránsito. Sólo se podrá admitir el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adhesividad satisfactoria con el asfalto, medida en los términos que se establecen en este Artículo.

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 del quince por ciento (15 %) de la masa total del agregado combinado, cuando el tránsito de diseño en el carril de diseño sea NT3, ni exceder de veinticinco por ciento (25 %) para tránsitos de menor intensidad. En todo caso, la proporción de agregado fino no triturado, no podrá exceder la del agregado fino triturado.

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, la indicada en la Tabla 450.1, 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.

Tabla 450.1  
Proporción de llenante mineral de aporte  
(% en masa del llenante total, excluido el adherido a los agregados)

Tipo de capa	NT1	NT2	NT3
Rodadura	-	≥ 25	≥50
Intermedia	-	≥25	≥50
Base	-	-	≥25

La granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral, deberá estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas en la Tabla 450.2. El análisis granulométrico se deberá efectuar de acuerdo con la norma INV E-213.

Tabla 450.2  
Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1½"	1"	¾"	½"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No.80	No.200
		% PASA									
Densa	MDC-1		100	80 - 95	67 - 85	60 - 77	43 - 59	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
	MDC-2			100	80 - 95	70 - 88	49 - 65	29 - 45	14 - 25	8 - 17	4 - 8
	MDC-3					100	65 - 87	43 - 61	16 - 29	9 - 19	5 - 10
Semidensa	MSC-1		100	80 - 95	65 - 80	55 - 70	40 - 55	24 - 38	9 - 20	6 - 12	3 - 7
	MSC-2			100	80 - 95	65 - 80	40 - 55	24 - 38	9 - 20	6 - 12	3 - 7
Gruesa	MGC-0	100	75 - 95	65 - 85	47 - 67	40 - 60	28 - 46	17 - 32	7 - 17	4 - 11	2 - 6
	MGC-1		100	75 - 95	55 - 75	40 - 60	28 - 46	17 - 32	7 - 17	4 - 11	2 - 6
Alto módulo	MAM		100	80 - 95	65 - 80	55 - 70	40 - 55	24 - 38	10 - 20	8 - 14	6 - 9

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 uniforme, 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.

El tipo de mezcla asfáltica en caliente por emplear en función del tipo y espesor compacto de la capa asfáltica, se definirá en los documentos del proyecto, siguiendo los criterios de la Tabla 450.3.

Tabla 450.3  
Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

TIPO DE CAPA	ESPESOR COMPACTO (mm)	TIPO DE MEZCLA
Rodadura	30 - 40	MDC-3
	40 - 60	MDC-2 - MSC-2
	> 60	MDC-1 - MDC-2 - MSC-2
Intermedia	> 50	MDC-1 - MSC-1
Base	> 75	MSC-1 - MGC-0 - MGC-1
Alto módulo	60 - 130	MAM
Bacheos	50 - 75	MSC-1 - MGC-1
	> 75	MSC-1 - MGC-0 - MGC-1

#### **450.2.2 Material bituminoso**

El material bituminoso para elaborar la mezcla en caliente será seleccionado en función de las características climáticas de la zona y las condiciones de operación de la vía. Cuando se emplee cemento asfáltico convencional, corresponderá a los tipos indicados en la Tabla 400.2 del Artículo 400. Su calidad deberá estar conforme a lo establecido en la Tabla 400.3 del mismo Artículo.

El cemento asfáltico modificado con polímeros sólo se podrá utilizar en vías cuyo tránsito de diseño sea NT3, en las condiciones indicadas en la Tabla 400.2 del Artículo 400.

#### **450.2.3 Aditivos mejoradores de la 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, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Interventor.

#### **450.2.4 Aditivos para modificar la reología**

En caso de incorporar productos modificadores de la reología de una mezcla en caliente elaborada con cemento asfáltico convencional, fibras por ejemplo, los estudios técnicos del proyecto determinarán su dosificación, así como la del ligante utilizado, de manera que el comportamiento de la mezcla sea semejante al que se obtendría al emplear un cemento asfáltico modificado con polímeros.

### **450.3 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.

#### **450.3.1 Equipo para la elaboración de los agregados triturados**

Rige lo indicado en el numeral 440.3.1 del Artículo 440.

#### **450.3.2 Planta mezcladora**

##### **450.3.2.1 Requisitos para todas las plantas**

La mezcla de concreto asfáltico o de alto módulo se fabricará en plantas adecuadas de tipo discontinuo o de tambor secador-mezclador, capaces de manejar simultáneamente en frío el número de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Las plantas productoras de mezcla asfáltica deberán cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire y para su funcionamiento en la obra se deberá presentar al Instituto Nacional de Vías la correspondiente autorización, expedida por la entidad nacional o regional encargada de otorgar tales permisos.

La capacidad mínima de producción de la planta estará señalada en el Pliego de Condiciones y ella dependerá de las características de la obra por ejecutar.

Las tolvas para agregados en frío deberán tener paredes resistentes y estancas, bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente, y cuya separación sea efectiva para evitar intercontaminaciones; su número mínimo será función del número de fracciones de agregado que exija la fórmula de trabajo adoptada pero, en todo caso, no será inferior a tres (3) para las plantas discontinuas y cuatro (4) para las de tambor secador-mezclador, dos de las cuales se asignarán al agregado fino. Estas tolvas deberán estar provistas de dispositivos ajustables de dosificación a su salida, que puedan ser ajustados y mantenidos en cualquier posición.

La planta estará dotada de un tambor secador que permita el secado correcto de los agregados y su calentamiento a la temperatura adecuada para la fabricación de la mezcla, según el ligante asfáltico utilizado, extrayendo de ellos una proporción de polvo mineral tal, que su dosificación se ajuste a lo establecido en la fórmula de trabajo. El sistema extractor deberá evitar la emisión de polvo mineral a la atmósfera y el vertido de lodos a cauces o instalaciones sanitarias, de acuerdo con la legislación ambiental y sanitaria vigente.

El combustible empleado para la producción de la mezcla será propano, butano, gas natural o fuel oil de los grados 1, 2, 4 ó 5. Los dos últimos (grados 4 y 5) deben cumplir los requisitos de la norma ASTM D 396. Se permite el empleo de aceites combustibles reciclados, siempre que cumplan los requisitos de la norma ASTM D 6448. El Constructor deberá certificar que cada carga de aceite combustible satisface los requisitos de la especificación ASTM aplicable. La producción de la mezcla se deberá detener si hay signos de avería en el sistema de combustión, si ocurre una combustión incompleta o se observa contaminación en los agregados o en la mezcla, y sólo se podrá reiniciar cuando, a juicio del Interventor, el problema quede satisfactoriamente resuelto.

La planta deberá poseer un dispositivo que permita la toma de muestras de agregados pétreos secos, antes de su mezcla con el ligante asfáltico, para verificar su limpieza.

La planta deberá disponer de sistemas independientes para el almacenamiento y para la dosificación del llenante mineral recuperado y de aporte, los cuales deberán estar adecuadamente protegidos contra la humedad.

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del ligante bituminoso deberá poder permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo, de forma que se garantice que no se producen sobrecalentamientos localizados y que no se sobrepasan las temperaturas máximas admisibles de dicho producto. Todas las tuberías, bombas, tanques, etc., deberán estar provistos de calefactores o aislamientos. La descarga de retorno del ligante a los tanques de almacenamiento será siempre sumergida. Se dispondrán termómetros, especialmente en la boca de salida al mezclador y en la entrada del tanque de almacenamiento. El sistema de circulación deberá estar provisto de dispositivos para tomar muestras y para comprobar la calibración del dosificador.

En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de los mismos.

Si la planta posee un silo para el almacenamiento de la mezcla elaborada, su capacidad deberá garantizar el flujo normal de los vehículos de transporte, así como que en las cuarenta y ocho (48) horas siguientes a la fabricación, la mezcla acopiada no haya perdido ninguna de sus características, en especial la homogeneidad del conjunto y las propiedades del ligante. El silo de almacenamiento deberá contar con una tolva de compensación u otro elemento de descarga en su parte superior, cuya ubicación y funcionamiento sean correctos, de manera que eviten la segregación de la mezcla que se va a almacenar.

#### **450.3.2.2 Requisitos específicos para las plantas de tipo discontinuo**

Las plantas deberán estar dotadas de un sistema de clasificación de los agregados en caliente, de capacidad adecuada a la producción del mezclador, en un número de fracciones no inferior a tres (3) y de tolvas de almacenamiento de las mismas, cuyas paredes serán resistentes y de altura suficiente para evitar intercontaminaciones. Dichas tolvas en caliente deberán tener un rebosadero, para evitar que el exceso de contenido se vierta en las contiguas o afecte el funcionamiento del sistema de clasificación; de un dispositivo de alarma, claramente perceptible por el operador, que avise cuando el nivel de la tolva baje del que proporcione la cantidad calibrada y de un dispositivo para la toma de muestras de las fracciones almacenadas.

La instalación deberá estar provista de indicadores de la temperatura de los agregados, situados a la salida del secador y en las tolvas en caliente.

La precisión de los dispositivos de dosificación por peso de los agregados en caliente deberá ser superior al medio por ciento ( $\pm 0.5\%$ ). Los dispositivos de dosificación ponderal del llenante y del ligante deberán tener una precisión superior al tres por mil ( $\pm 0.3\%$ ).

El ligante asfáltico se distribuirá uniformemente en el mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no permitirán fugas ni goteos. El sistema dosificador del ligante deberá disponer de dispositivos para su calibración a la temperatura y presión de trabajo.

Si se previera la incorporación de aditivos a la mezcla, la planta deberá poder dosificarlos con precisión suficiente, a juicio del Interventor.

La operación de la planta deberá ser totalmente automática.

#### **450.3.2.3 Requisitos específicos para las plantas de tambor secador- mezclador**

El sistema de dosificación de los agregados deberá ser ponderal y tener en cuenta su humedad, para corregir la dosificación en función de ella. La rata de alimentación deberá ser monitoreada continuamente por la báscula de la banda transportadora u otro dispositivo sincronizado con el mecanismo de alimentación del asfalto.

El tambor deberá calentar, cubrir y mezclar uniformemente los materiales, evitando cualquier sobrecalentamiento que pueda afectar adversamente las características y el comportamiento de la mezcla.

El dispositivo medidor del asfalto deberá controlar adecuadamente la rata de ligante que se incorpora a la mezcla y responder instantáneamente a cualquier variación en la rata de alimentación de los agregados. La difusión del asfalto deberá ser homogénea y de manera que no exista ningún riesgo de contacto con la llama ni de someter al ligante a temperaturas inadecuadas.

Se deberá instalar un pirómetro en el extremo de descarga del mezclador, para verificar la temperatura de la mezcla. La producción de la planta se deberá limitar a la velocidad requerida para obtener una envuelta correcta de los agregados, cumpliendo con los requisitos de temperatura del ligante según se haya determinado al establecer la fórmula de trabajo.

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

Tanto los agregados como las mezclas se transportarán en volquetas de platón liso y estanco, debidamente acondicionadas para tal fin. Cuando se vaya a transportar mezcla, la superficie interna del platón deberá ser tratada con un producto cuya composición y cantidad deberán ser aprobadas por el Interventor, con el fin de evitar la adherencia de la mezcla a ella. La forma y la altura del platón serán tales, que durante el vertido en la pavimentadora, la volqueta sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos para ello.

Las volquetas deberán estar siempre provistas de una lona o un cobertor adecuado, debidamente asegurado, tanto para proteger los materiales que transporta, como para prevenir emisiones contaminantes.

En relación con las volquetas, el Constructor deberá tener en cuenta y cumplir todas las disposiciones sobre tránsito automotor y medio ambiente, emanadas por las autoridades competentes, en especial el Ministerio de Transporte y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

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

Este equipo, cuyo empleo es de carácter opcional, tiene por finalidad reducir la segregación y transferir la mezcla de las volquetas a la tolva de la máquina pavimentadora, sin que aquellas entren en contacto con ésta, ni circulen sobre superficies con riegos de imprimación o liga.

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

La extensión y terminación de los concretos asfálticos producidos en planta se hará con pavimentadoras autopropulsadas, de las mismas características que las descritas en el numeral 440.3.5 del Artículo 440. Adicionalmente, deberán estar dotadas de un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal.

### **450.3.6 Equipo de compactación**

Se deberán utilizar compactadores autopropulsados de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios, de neumáticos o mixtos. El equipo de compactación será aprobado por el Interventor, a la vista de los resultados obtenidos en la fase de experimentación. Como mínimo, se deberán poner a disposición de los trabajos un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixto y uno (1) de llantas neumáticas.

Todos los compactadores deberán ser autopropulsados y estar dotados de inversores de marcha suaves; además, estarán dotados de dispositivos para la limpieza de los rodillos o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

Los compactadores de rodillos metálicos no deberán presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios dispondrán de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslapo de las huellas delanteras y traseras y, en caso necesario, faldones de lona protectora contra el enfriamiento de los neumáticos.

Las presiones lineales estáticas o dinámicas, y 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 arrollamiento de la mezcla a las temperaturas de compactación.

Se permitirá el uso de otros equipos de tamaño y diseño adecuados para la labor por realizar, para efectuar la compactación en lugares inaccesibles a los equipos normales de compactación.

### **450.3.7 Equipo accesorio**

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

## **450.4 EJECUCION DE LOS TRABAJOS**

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

Rige lo indicado en el numeral 400.4.1 del Artículo 400.

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

#### **450.4.2.1 Generalidades**

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



### 450.4.2.2 Diseño

Las mezclas en caliente objeto del presente Artículo se diseñarán, salvo justificación en contrario, por el método Marshall, efectuando el ensayo de estabilidad y flujo en acuerdo con la norma de ensayo INV E-748 y utilizando los procedimientos de cálculo establecidos en la norma de ensayo INV E-799. En todos los casos, se evaluarán las propiedades de empaquetamiento de los agregados en la mezcla, mediante el método Bailey.

Los criterios para la definición preliminar del porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla, son los indicados en la Tabla 450.4.

El diseño preliminar de la fórmula de trabajo, obtenida a partir de los requisitos establecidos en la Tabla 450.4 deberá ser sometido a una primera comprobación, con base en los criterios de la Tabla 450.5

Tabla 450.4  
Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO	
		CATEGORÍA DE TRÁNSITO				
		NT1	NT2	NT3		
Compactación (golpes/cara)	E-748	50	75	75	75	
Estabilidad mínima (kg)	E-748	500	750	900	1500	
Flujo (mm)	E-748	2 – 4	2 – 4	2 – 3.5	2 – 3	
Vacíos con aire(V <sub>a</sub> )*, %	Rodadura	E-736 o E-799	3 – 5	3 – 5	4 – 6	–
	Intermedia		4 – 8	4 – 8	4 – 7	4 – 6
	Base		–	5 – 9	5 – 8	–
Vacíos en los agregados minerales (VAM), %	Mezclas 0	E-799	≥13	≥13	≥13	–
	Mezclas 1		≥14	≥14	≥14	≥14
	Mezclas 2		≥15	≥15	≥15	–
	Mezclas 3		≥16	≥16	≥16	–
% de vacíos llenos de asfalto (VFA) (Volumen de asfalto efectivo / Vacíos en los agregados minerales) x 100 Capas de rodadura e intermedia	E-799	65 – 80	65 – 78	65 – 75	63 – 75	
Relación Llenante/ Asfalto efectivo, en peso	E-799	0.8 – 1.2			1.2 – 1.4	
Concentración de llenante, valor máximo	E – 745	Valor crítico				

\* Para bacheos en capas de 50 a 75 mm de espesor se exigirán los requisitos de vacíos con aire de “intermedia” y para los de capas de más de 75 mm se exigirán los requisitos para “base”. Si se llegase a efectuar un bacheo con mezcla asfáltica en caliente en espesor mayor de 75 mm en una vía cuyo tránsito de proyecto es NT1, se aplicará el criterio de vacíos con aire para las capas de “base” con tránsito NT2 (5%-9%).

Tabla 450.5.  
Criterios de comprobación del diseño volumétrico de la fórmula de trabajo

CARACTERÍSTICA	MEZCLAS DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO
	CATEGORÍA DE TRÁNSITO			
	NT1	NT2	NT3	
Relación Estabilidad / Flujo (kg/mm)	200 a 400	300 a 500	300 a 600	-

Satisfechos los requisitos establecidos en las Tablas 450.4 y 450.5, se deberá comprobar la adhesividad entre el agregado pétreo y el ligante asfáltico, caracterizando la mezcla con el contenido óptimo de ligante mediante el ensayo descrito en la norma INV E-725, para verificar su sensibilidad al agua. 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. Si no se alcanza este valor, se deberá incrementar la adhesividad, empleando un aditivo mejorador de adherencia y/o un llenante mineral apropiado.

Para capas de rodadura e intermedia en vías de tránsito NT3 y para mezclas de alto módulo, la mezcla definida como óptima al efectuar el diseño Marshall, ajustada por la comprobación de adhesividad si es el caso, 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. La velocidad de deformación en el intervalo comprendido entre ciento cinco (105) y ciento veinte (120) minutos, no podrá ser mayor de 15µm/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 20 µm/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, hasta cumplirlo.

Para el control de la resistencia de la mezcla a la deformación plástica se podrán emplear otros métodos de pista de ensayo de laboratorio contemplados en la norma europea EN-12697-22, caso en el cual los criterios de aceptación se deberán definir con base en especificaciones internacionales de comprobada aceptación.

Como complemento del diseño, se deberá presentar el espesor promedio de la película de asfalto que cubre los agregados, cuyo cálculo se realizará conforme se indica en la norma INV E-741.

#### 450.4.2.3 Módulo Resiliente

Para las mezclas de alto módulo, la mezcla definida como óptima deberá ser verificada con la medida de su módulo resiliente. El valor del módulo, determinado según la norma de ensayo INV E-749 a la temperatura y frecuencia de aplicación de carga definidas para el proyecto, deberá ser mínimo de diez mil megapascuales (10.000 MPa), para probetas compactadas con 75 golpes por cara. Las probetas que se sometan a este ensayo deberán ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo según la norma de ensayo AASHTO R-30. Si este valor de módulo no se cumple, será necesario rediseñar la mezcla hasta lograr su cumplimiento.

Alternativamente, el módulo podrá ser determinado mediante alguno de los procedimientos de ensayo definidos en la norma europea EN-12697-26, caso en el cual el valor obtenido debe ser equivalente al de diez mil megapascales (10.000 MPa), definido para la norma INV E-749; en este caso, se deberán utilizar equivalencias internacionalmente comprobadas entre los resultados de los ensayos. En este caso, las probetas deberán ser elaboradas en las mismas condiciones descritas en el párrafo anterior.

#### **450.4.2.4 Leyes de Fatiga**

Las mezclas óptimas diseñadas con el método Marshall deberán ser verificadas con la medida de sus leyes de fatiga, aplicando el procedimiento de ensayo definido en la norma INV E-784 u otros de reconocida aceptación, como los descritos en la norma europea EN-12697-24. Los ensayos se realizarán bajo condiciones de densidad, temperatura y frecuencia representativas de las condiciones reales de operación del pavimento. Las probetas que se sometan a este ensayo deberán ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo según la norma de ensayo AASHTO R-30.

Aunque los resultados de los ensayos de fatiga no tienen por finalidad la aceptación o el rechazo de la mezcla por parte del Interventor, el Constructor deberá asegurarse de que las leyes de fatiga de las mezclas que elabore sean adecuadas para las necesidades de tránsito del proyecto donde se utilizará, por cuanto será de su entera y única responsabilidad cualquier deterioro prematuro atribuible exclusivamente a la fatiga de las capas asfálticas, durante el período de garantía de estabilidad de la obra

#### **450.4.2.5 Medidas de prevención contra la fisuración descendente de las capas asfálticas (top-down cracking)**

Adicionalmente a todos los requerimientos para el diseño de la mezcla, señalados en los numerales precedentes, el Constructor deberá adoptar todas las previsiones técnicas y operativas necesarias que permitan la prevención del desarrollo de fisuras y grietas descendentes (top-down cracking) en las capas asfálticas. Todo deterioro por este concepto que se produzca durante el período de garantía de estabilidad de la obra se considerará de su responsabilidad, debiendo proceder a su corrección, a satisfacción completa del Instituto Nacional de Vías.

#### **450.4.2.6 Ajuste de la Fórmula de Trabajo**

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se podrá ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varían la procedencia o las características de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este Artículo, se requerirá el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

#### **450.4.3 Preparación de la superficie existente**

La mezcla no se extenderá hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y 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.

Si la extensión de la mezcla necesita riegos previos de imprimación o de liga, ellos se realizarán conforme lo establecen los Artículos 420 y 421, respectivamente, de las presentes especificaciones.

Antes de aplicar la mezcla, se verificará que haya ocurrido el curado del riego previo, no debiendo quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se comprobará que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el Constructor deberá efectuar un riego adicional de adherencia, en la cuantía que fije el Interventor. Si la pérdida de efectividad del riego anterior 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.

#### **450.4.4 Fase de experimentación**

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del Artículo 400.

#### **450.4.5 Aprovechamiento 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 deberá poderse acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación. Cuando la mezcla asfáltica se vaya a elaborar en una planta del tipo tambor secador- mezclador no se permitirá, por ningún motivo, realizar una predosificación de las fracciones de los agregados pétreos, antes de su vertimiento en las tolvas de agregados en frío de la planta.

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.

#### **450.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica**

La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan más del cincuenta por ciento (50%) de su capacidad, pero sin rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones. La alimentación del agregado fino se realizará en dos (2) tolvas, así éste sea de un tipo único.

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 signos de avería en el sistema de combustión, si ocurre combustión incompleta o 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 la relación viscosidad – temperatura, siendo una temperatura conveniente aquella a la cual el ligante presenta una viscosidad entre ciento cincuenta y trescientos centistokes (150–300 cSt), siendo preferible que se encuentre entre ciento cincuenta y ciento noventa centistokes (150–190 cSt).

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 supere los dos tercios ( $2/3$ ) de su altura, de forma que se logre una envuelta completa y uniforme para los tiempos de mezclado establecidos en la fórmula de trabajo.

Todos los tamaños del agregado deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla recién elaborada 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 ó humedad. En este último caso, se retirarán los agregados de las correspondientes tolvas en caliente. También, se rechazarán aquellas mezclas en las que la envuelta no sea perfecta.

Siempre que se emplee un silo para el almacenamiento de la mezcla elaborada, ésta se deberá verter dentro de aquél tomando las precauciones necesarias para que no se ocasione segregación. En el instante de la descarga del silo a las volquetas, se procurará realizarla con la mayor rapidez, con el fin de disminuir la posibilidad de segregación en los platonos de las volquetas, ya que de esta manera se reduce la acción de rodamiento de la mezcla cuando fluye hacia ellos. En ese momento se deberá verificar la temperatura, con el fin de impedir el despacho a la obra de mezclas con temperaturas inferiores a las definidas como apropiadas para la extensión y para la compactación durante la fase de experimentación.

#### **450.4.7 Transporte de la mezcla**

La mezcla se transportará a la obra en volquetas carpadas, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Sólo se permitirá el trabajo en horas de la noche si, a juicio del Interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y la compactación de manera adecuada, según se establece en el numeral 450.4.15.

Durante el transporte de la mezcla se deberán tomar las precauciones necesarias para que al descargarla en el equipo de transferencia o en la máquina pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la mínima que se determine como aceptable durante la fase de experimentación.

Antes de abordar cualquier vía pavimentada, se deberán limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deberán mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos y sus cargas por eje y totales se deberán encontrar dentro de los límites fijados por la resolución vigente del Ministerio de Transporte.

#### **450.4.8 Transferencia de la mezcla**

Si el Constructor dispone de una máquina para la transferencia de la mezcla asfáltica (shuttle buggy), la volqueta descargará la mezcla en la tolva de almacenamiento de la máquina, cuyas bandas transportadoras se encargarán de alimentar la pavimentadora, sin que ésta sea tocada por las llantas de la volqueta, favoreciendo de esta manera la regularidad superficial.

#### **450.4.9 Extensión de la mezcla**

La mezcla recibida de la volqueta o de la máquina de transferencia será extendida por la máquina pavimentadora, 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. La mezcla se colocará en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad en las operaciones de extendido, teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

Siempre que resulte posible, después de haber extendido y compactado una franja, la adyacente deberá ser extendida mientras el borde de la anterior aun se encuentre caliente y en condiciones de ser compactado, con el fin de evitar la ejecución de una junta longitudinal.

La pavimentadora se regulará de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin arrastres ni segregaciones, y con un espesor tal que, luego de compactada, se ajuste a la rasante y a la sección transversal indicada 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, la extensión de la mezcla 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 material apropiado, a expensas del Constructor.

La extensión de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la pavimentadora a la producción de la planta de fabricación, de manera que aquella 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, dicha mezcla se descartará y se deberá ejecutar una junta transversal. Tras la pavimentadora se deberá disponer un número suficiente de obreros especializados, agregando mezcla caliente y enrasándola, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada, se ajuste enteramente a las condiciones impuestas en esta especificación.

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 se distribuirá en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme y de espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a los planos o a las instrucciones del Interventor, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

#### **450.4.10 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 agrietamientos o desplazamientos indebidos.

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 terminado, serán chaflanados ligeramente.

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

La compactación se continuará mientras la mezcla se encuentre en condiciones de ser compactada hasta alcanzar los niveles de densidad prescritos en este Artículo y se concluirá con un apisonado final con un equipo liso que borre las huellas dejadas por los compactadores precedentes.

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

#### **450.4.11 Juntas de trabajo**

Además de lo indicado en el numeral 440.4.11 del Artículo 440, la junta longitudinal se deberá calentar luego de la rotura de la emulsión del riego de liga, previamente a la extensión de la siguiente franja contra ella.

#### **450.4.12 Pavimento sobre puentes y viaductos**

Las losas de los puentes y los viaductos se pavimentarán con una mezcla en caliente de la calidad exigida para la capa de rodadura, previa la aplicación del riego de liga mencionado en el numeral 450.4.3, "Preparación de la superficie existente", de esta especificación.

Durante la ejecución del riego de liga y la extensión de la mezcla asfáltica, el Constructor deberá defender con lonas, papel o similares, todas aquellas partes de los puentes y viaductos que puedan ser alcanzadas por el material bituminoso. El Constructor será responsable por cualquier daño que



causen las operaciones de sus equipos y, en consecuencia, todos los trabajos de reparación y limpieza correrán por su cuenta.

#### **450.4.13 Bacheos**

Cuando se haya efectuado una excavación para la reparación de un pavimento asfáltico convencional (constituido por capas asfálticas densas, base granular y subbase granular), con una profundidad mayor de ciento cincuenta milímetros (150 mm) y se tenga contemplado en el proyecto el empleo de las mezclas asfálticas en caliente del presente Artículo para efectuar parte del relleno de la excavación, los setenta y cinco milímetros (75 mm) superiores, hasta alcanzar el nivel de rasante del pavimento que se repara, se deberán rellenar con una mezcla asfáltica en caliente de uno de los tipos señalados en la Tabla 450.3.

Cuando la excavación sea de profundidad menor o igual a ciento cincuenta milímetros (150 mm), se rellenará en su totalidad con mezcla asfáltica en caliente, en capas de espesor compacto de no menos de cincuenta milímetros (50 mm), empleando las mezclas señaladas en la Tabla 450.3, según el espesor elegido para la capa compactada. De todas maneras, la capa superior del bacheo no podrá tener un espesor superior a setenta y cinco milímetros (75 mm).

En todos los casos, las capas deberán ser compactadas con equipos adecuados, hasta lograr los niveles de densidad prescritos en este Artículo.

Tanto la superficie que recibirá las capas asfálticas como las paredes de la excavación en contacto con ellas, deberán ser pintadas con un riego de liga con emulsión asfáltica, conforme a las instrucciones del Interventor.

Debido a que algunos pavimentos asfálticos de la red vial nacional tienen estructuras muy gruesas y complejas, por cuanto han sido sometidos durante el tiempo a varias intervenciones de rehabilitación, el tipo y los espesores de las mezclas asfálticas en caliente para las operaciones de bacheo que se realicen en ellos se deberán definir en los documentos del respectivo proyecto o, en su defecto, deberán ser establecidos por el Interventor, de acuerdo con las circunstancias específicas de cada obra.

#### **450.4.14 Apertura al tránsito**

Alcanzada la densidad exigida, el tramo pavimentado se podrá abrir al tránsito tan pronto la capa alcance la temperatura ambiente en todo su espesor. Por ningún motivo se permitirá la acción de cualquier tipo de tránsito sobre las capas en ejecución.

#### **450.4.15 Limitaciones en la ejecución**

No se permitirá la extensión de ninguna capa de mezcla asfáltica en caliente, mientras no haya sido realizada la nivelación y se haya comprobado y aprobado el grado de compactación de la capa precedente.

Tampoco se permitirán la extensión ni la compactación de la mezcla en momentos de lluvia, ni cuando haya fundado temor de que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a cinco grados Celsius (5°C). Si el espesor de la capa por extender,

ya compactada, es menor de cincuenta milímetros (50 mm), dichas temperaturas no podrán ser inferiores a ocho grados Celsius (8°C).

Los trabajos de construcción de la mezcla asfáltica en caliente se deberán realizar 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.

#### **450.4.16 Manejo ambiental**

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

#### **450.4.17 Reparaciones**

Rige lo especificado en el numeral 440.4.17 del Artículo 440.

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

#### **450.5.1 Controles**

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

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

##### **450.5.2.1 Calidad del cemento asfáltico**

A la llegada de cada carrotanque con cemento asfáltico convencional o cemento asfáltico modificado con polímeros para mezcla en caliente 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 400.2.2 (cemento asfáltico) o en el numeral 400.2.3 (cemento asfáltico modificado con polímeros), según el caso, del Artículo 400 de las presentes especificaciones.

El Interventor se abstendrá de aceptar el empleo de suministros de cemento asfáltico convencional o modificado con polímeros, que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Además, mediante muestras representativas de cada entrega, efectuará las verificaciones exigidas en el numeral 410.5.2 del Artículo 410 de estas especificaciones, cuando se trate de un cemento asfáltico convencional o en el numeral 414.5.2 del Artículo 414, cuando se trate de un cemento asfáltico modificado con polímeros. 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 las Tablas 400.3 o 400.4 del Artículo 400 de las presentes especificaciones, según corresponda.

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

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deberán realizar los ensayos que sean pertinentes de aquellos que se encuentran indicados en la Tabla 400.1 del Artículo 400 de estas especificaciones.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral y para cualquier volumen previsto, se tomarán dos (2) muestras y sobre ellas se determinará la densidad aparente, según la norma INV E-225.

Los resultados de estas pruebas deberán satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 400.2.1 del Artículo 400, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

Durante la etapa de producción, el Interventor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También, ordenará acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y vigilará la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, efectuará las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 450.6 para los agregados grueso y fino.

Tabla 450.6  
Ensayos de verificación sobre los agregados para mezclas en caliente

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
<b>Composición</b>		
Granulometría	E-213	1 por jornada
<b>Dureza</b>		
Desgaste Los Ángeles (Gradación A)	E-218	1 por mes
Micro-Deval	E-238	1 por mes
10% de Finos	E-224	1 por mes
<b>Durabilidad</b>		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de sodio o magnesio	E-220	1 por mes
<b>Limpieza</b>		
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno	E-235	Nota 1
Contenido de impurezas	E-237	1 por semana
<b>Geometría de las partículas</b>		
Partículas fracturadas mecánicamente	E-227	1 por jornada
Angularidad del agregado fino	E-239	1 por jornada
Partículas planas y alargadas	E-240	1 por semana
<b>Gravedad específica</b>		
Gravedad específica y absorción	E-222 y E-223	1 por mes
<b>Resistencia al pulimento</b>		
Coefficiente de pulimento acelerado (capa de rodadura)	E-232	Cuando cambie la procedencia de los agregados

Nota 1 :Si el resultado de la prueba de equivalente de arena no satisface la exigencia de la Tabla 400.1 del Artículo 400 de estas especificaciones, pero es igual o superior a 40%, se deberá determinar el valor de azul de metileno y este resultado deberá ser menor o igual a diez (10).

Si existe incorporación independiente de llenante mineral, sobre él se efectuarán las siguientes determinaciones:

- Densidad aparente (norma de ensayo INV E-225), al menos una (1) vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante.
- Granulometría (norma de ensayo INV E-123), una (1) prueba por suministro.

El Interventor podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 450.6, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En ningún caso se permitirá el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 450.2.1 del presente Artículo. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado insatisfactorio, se tomarán dos muestras adicionales del material y se repetirá la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deberán ser satisfactorios o, de lo contrario, el Interventor no autorizará la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

#### **450.5.2.3 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 combustibles. En este último caso y cuando la planta sea del 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.

Para efectos del control, se considerará como lote el volumen de material que resulte de aplicar los criterios indicados en el numeral 450.5.2.5.

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

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se determinará la composición granulométrica de los agregados según la norma de ensayo INV E-782. 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 450.7, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

Tabla 450.7  
Tolerancias granulométricas de los agregados para mezclas densas, demidensas y gruesas en caliente y mezclas de alto módulo

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE % SOBRE EL PESO SECO DE LOS AGREGADOS
4.75 mm (No.4) y mayores	± 4%
2.00 mm (No.10) 425 μm (No.40) 180 μm (No.80)	± 3%
75 μm (No.200)	± 1%

En 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 450.4.2 de esta especificación. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se rechazará el lote.

#### 450.5.2.4 Calidad de la mezcla

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

Con un mínimo de dos (2) muestras de la mezcla elaborada, se compactarán probetas (dos por muestra), a la temperatura apropiada según el asfalto empleado en la mezcla, para verificar en el laboratorio su estabilidad y flujo 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 (4) probetas deberá encontrarse en el rango establecido en la Tabla 450.4, sin que ningún valor individual pueda alejarse en más de medio por ciento (0.5%) de los límites del rango.

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

Si el requisito de vacíos con aire se cumple, se procederá a determinar la estabilidad y el flujo de las cuatro (4) probetas.

##### b. Estabilidad

La estabilidad media de las cuatro (4) probetas ( $E_m$ ) deberá ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90%) de la estabilidad de la mezcla de la fórmula de trabajo ( $E_t$ ).

$$E_m \geq 0.9 E_t$$

Ningún valor individual ( $E_i$ ) podrá exceder en más de veinticinco por ciento (25%) el valor de estabilidad de la fórmula de trabajo ( $E_t$ ), ni encontrarse por debajo del valor mínimo establecido en la Tabla 450.4 de este Artículo.

$$E_i \leq 1.25 E_t$$
$$E_i \geq \text{Valor mínimo establecido en la Tabla 450.4}$$

Además, la estabilidad de cada probeta ( $E_i$ ) deberá ser igual o superior al ochenta por ciento (80%) del valor medio de estabilidad ( $E_m$ ), admitiéndose sólo un valor individual por debajo de ese límite.

$$E_i \geq 0.8 E_m$$

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

### **c. Flujo**

El flujo medio de las probetas sometidas al ensayo de estabilidad ( $F_m$ ) deberá encontrarse entre el ochenta por ciento (80%) y el ciento veinte por ciento (120%) del valor obtenido en la mezcla aprobada como fórmula de trabajo ( $F_t$ ), pero no se permitirá que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos en la Tabla 450.4 del presente Artículo.

$$0.80 F_t \leq F_m \leq 1.20 F_t$$

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido en la Tabla 450.4, pero no satisface la exigencia recién indicada en relación con el valor obtenido al determinar la fórmula de trabajo, el Interventor decidirá, al compararlo con las estabilidades, si el lote debe ser rechazado o aceptado.

### **d. Relación estabilidad / flujo**

Se calculará esta relación para las cuatro (4) probetas elaboradas para el control de estabilidad y flujo en cada lote.

Los valores obtenidos se deberán encontrar dentro de los límites establecidos en la Tabla 450.5, según el tránsito de diseño de la vía para la cual se está elaborando la mezcla. Si al menos uno de los valores calculados queda por fuera de dichos límites, se rechazará el lote, así los valores individuales de estabilidad y de flujo sean satisfactorios.

### **e. Susceptibilidad a la humedad**

Cada vez que el Interventor lo considere conveniente, de acuerdo con el aspecto y comportamiento de la mezcla colocada, se verificará en el laboratorio la susceptibilidad de la mezcla compactada a la acción del agua, empleando el ensayo de tracción indirecta descrito en la norma de ensayo INV E-725.

Al efecto, se moldearán seis (6) probetas con la mezcla que se está elaborando, tres (3) de las cuales se curarán en seco y tres (3) bajo condición húmeda, determinándose la resistencia promedio de cada grupo como lo establece la norma. La resistencia del grupo curado en húmedo deberá ser, cuando menos, ochenta por ciento (80%) de la resistencia del grupo curado en seco, para que se considere que la mezcla es resistente a la humedad.

El incumplimiento de este requisito implicará la realización del ensayo sobre núcleos tomados de los diferentes lotes cuya mezcla considere el Interventor que puede presentar este problema (seis núcleos por lote, tres curados en seco y tres bajo condición húmeda). Los lotes de material que no cumplan con el requisito serán rechazados. Además, los trabajos se deberán suspender hasta que se estudien e implementen las medidas que garanticen el cumplimiento de este requisito, las cuales pueden comprender desde la incorporación de un aditivo hasta la definición de una nueva fórmula de trabajo y un nuevo diseño de la mezcla.

#### **f. Contenido de agua**

Siempre que la apariencia de la mezcla indique la posible presencia de agua en ella, se determinará el contenido de agua en la mezcla asfáltica, según la norma de ensayo INV E-755.

El contenido de agua en cualquier mezcla asfáltica en caliente no podrá ser mayor que medio por ciento (0.5%). Los volúmenes de mezcla que no cumplan con este requisito serán rechazados.

#### **g. Módulo resiliente**

Sobre las mezclas asfálticas de alto módulo, se deberá determinar el módulo resiliente, según la norma de ensayo INV E-749. La prueba deberá ser realizada por duplicado, sobre probetas tipo Marshall, compactadas con 75 golpes por cara, a la temperatura y frecuencia indicadas en el numeral 450.4.2.3. El valor promedio obtenido deberá ser, como mínimo, de diez mil megapascales (10.000 MPa).

Alternativamente, el módulo podrá ser medido mediante alguno de los procedimientos de ensayo definidos en la norma europea EN-12697-26, conservando las condiciones de elaboración de probetas, la frecuencia y la temperatura de ensayo; el valor de módulo obtenido deberá ser equivalente al de diez mil megapascales (10.000 MPa), definido para la norma INV E-749. En este caso, se deberán utilizar ecuaciones de equivalencia debidamente comprobadas entre los resultados de los ensayos.

Este control se realizará a razón de un juego de ensayos por (i) cada quinientos metros cúbicos (500 m<sup>3</sup>) de mezcla compactada o por (ii) el volumen total compactado, si la obra contempla la construcción de un volumen total inferior a dicha cantidad.

En el caso de estas verificaciones, el Interventor deberá conservar suficientes probetas adicionales para ulteriores ensayos de contraste, los cuales se realizarán en caso de que los resultados de las pruebas iniciales indiquen que no se cumple el valor mínimo de diez mil megapascales (10.000 MPa), bajo las condiciones de ensayo recién descritas.

Los ensayos de contraste se realizarán sobre un número de probetas no inferior al doble de las utilizadas para la primera verificación y el valor promedio del módulo resiliente de ellas deberá ser



mayor de diez mil megapascales (10.000 MPa). Si este valor mínimo no se cumple, el volumen de mezcla objeto del control será rechazado y el Constructor deberá fresarlo y retirarlo, a su costa, y reemplazarlo por otro de calidad satisfactoria. El material fresado será propiedad del Constructor.

Si las especificaciones particulares establecen requisitos sobre módulos resilientes para otras mezclas del proyecto, se deberá seguir un proceso de verificación similar al mencionado para las mezclas de alto módulo.

#### **450.5.2.5 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, para una sola capa de mezcla asfáltica en caliente:

- Quinientos metros lineales (500m) de mezcla en caliente colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m<sup>2</sup>) de mezcla en caliente colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Específicamente para la determinación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), la definición de “lote” será como se indica en el inciso e. del numeral 440.5.2.6 del Artículo 440 de estas Especificaciones.

La capa terminada de mezcla asfáltica en caliente 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 asfáltica compactada en capas de base, no deberá variar en más de quince milímetros (15 mm) de la proyectada y la variación no podrá exceder de diez milímetros (10 mm) cuando se trate de capas intermedia y de rodadura.

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

##### **a. Compactación**

La determinación de la densidad de la capa compactada se realizará, como mínimo, en cinco (5) sitios por lote. Tales sitios, para la toma de muestras o las mediciones in situ, se elegirán al azar según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro.

La densidad de la capa compactada se deberá referir a la densidad máxima teórica ( $D_{mm}$ ), determinada sobre una muestra representativa de la mezcla del lote y medida según la norma de ensayo INV E-735, “Gravedad específica y densidad máxima teórica de mezclas asfálticas para pavimentos”, como se indica a continuación:

Si  $D_m - (k \times s) \geq P_x D_{mm}$  se acepta el lote.

Si  $D_m - (k \times s) < P_x D_{mm}$  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. El valor de  $k$  correspondiente al número de ensayos ( $n$ ) que integran la muestra, se indica en la Tabla 450.8.

Tabla 450.8  
Valores del factor  $k$

<b>n</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>k</b>	0.685	0.602	0.544	0.500	0.465	0.437

$s$ : Desviación estándar de la muestra.

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

$P$ : Proporción de la densidad máxima teórica de la mezcla utilizada para el control de la compactación. Este valor se indica en la Tabla 450.9.

Tabla 450.9  
Parámetro P para el control de compactación

TIPO DE CAPA	VALOR DEL PARÁMETRO P		
	NT1	NT2	NT3
Rodadura	0.94	0.94	0.93
Intermedia	0.92	0.92	0.92
Base	-	0.91	0.91
Alto módulo	-	-	0.93

$D_{nm}$  : Densidad máxima teórica de la mezcla asfáltica representativa del lote que se controla, determinada mediante la norma de ensayo INV E-735.

La toma de muestras testigo 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, E-734 y E-746. Sólo se aceptará la determinación de la densidad de la capa compactada por medio de densímetros nucleares (INV E-746), 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 densa 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.

#### b. Espesor

Sobre la base del lote escogido para el control de la compactación y en los mismos puntos de verificación, se determinará el espesor promedio de la capa compactada ( $e_m$ ), el cual no podrá ser inferior al espesor de diseño ( $e_d$ ).

$$e_m \geq e_d$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual ( $e_i$ ) deberá ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, siempre que este último valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85%) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0.9 e_d$$

Si alguno de estos requisitos se incumple, se procederá como se indica a continuación:

- **Para capas de rodadura**

El Constructor procederá a fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado o, alternativamente y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, a la colocación de una capa adicional del mismo tipo de mezcla de cincuenta milímetros (50mm) de espesor compacto, cumpliendo todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas deberá ejecutarlo en acuerdo con el Artículo 421 de estas especificaciones. Todas las operaciones descritas en este párrafo serán de cargo exclusivo del Constructor. Si la capa adicional no cumple alguno de los requisitos de este Artículo, deberá ser fresada y repuesta con una nueva de calidad satisfactoria, actividades que correrán a cargo y cuenta del Constructor y no implicarán erogación alguna para el Instituto Nacional de Vías.

- **Para capas intermedias**

Si el espesor promedio del lote es inferior al noventa por ciento del espesor de diseño ( $e_m < 0.9 e_d$ ), la capa que constituye el lote se rechazará y deberá ser levantada mediante fresado y repuesta en el espesor adecuado, a satisfacción del Interventor. Todos los costos que esto implique serán de cargo del Constructor.

Si el espesor promedio del lote es igual o mayor al noventa por ciento del espesor de diseño ( $e_m \geq 0.9 e_d$ ) y no existen deficiencias de lisura en la capa terminada, se autorizará compensar la deficiencia de espesor con el espesor adicional correspondiente en la capa de rodadura, por cuenta única del Constructor. Si la deficiencia ocurre en una capa elaborada con una mezcla de alto módulo, la compensación no se realizará en un espesor igual al de la misma, sino el que resulte al verificar el dimensionamiento de la estructura, con el mismo método empleado en el diseño original. Si el Constructor no acoge por escrito estas determinaciones, se procederá como en el párrafo anterior.

- **Para capas de base**

Si el espesor promedio del lote es inferior al ochenta por ciento del espesor de diseño ( $e_m < 0.80 e_d$ ), la capa que constituye el lote se rechazará y deberá ser levantada mediante fresado y repuesta en el espesor adecuado, a satisfacción del Interventor. Todos los costos que esto implique serán de cargo del Constructor.

Si el espesor promedio del lote es igual o mayor al ochenta por ciento del espesor de diseño ( $e_m \geq 0.80 e_d$ ) y no existen deficiencias de lisura en la capa terminada, se autorizará compensar la deficiencia de espesor con el espesor adicional correspondiente en la capa superior, por cuenta única del Constructor. Si el Constructor no acoge por escrito esta determinación, se procederá como en el párrafo anterior.

**c. 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 referenciado.

Estas fotografías, que serán incluidas en el Informe Final de Interventoría, servirán al Instituto Nacional de Vías como antecedente técnico si se presentan deterioros del pavimento durante el periodo de garantía, como consecuencia de la segregación térmica durante la construcción de las capas asfálticas.

**d. Lisura, resistencia al deslizamiento, regularidad superficial, construcción de capas de renivelación, correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al Constructor y medidas de deflexión**

En relación con estos aspectos, resultan aplicables, en todo, los requisitos establecidos en los literales c., d., e., f., g., y h. respectivamente, del numeral 440.5.2.6 del Artículo 440 de estas especificaciones, teniendo en cuenta que las mezclas asfálticas por reponer o adicionar con motivo de los rechazos, deberán ser en caliente, en acuerdo a las exigencias del presente Artículo.

Todas las áreas de mezcla asfáltica en caliente colocada y compactada, donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, así como aquéllas en que se presente retención de agua en la superficie, deberán ser corregidas por el Constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a plena satisfacción de éste.

**450.6 MEDIDA**

Rige lo descrito en el numeral 400.6.2 del Artículo 400. Para bacheos, se aplicará lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo Artículo.

**450.7 FORMA DE PAGO**

Rige lo descrito en el numeral 400.7.2 del Artículo 400.

**ÍTEM DE PAGO**

450.1 Mezcla densa en caliente tipo MDC-1	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
450.2 Mezcla densa en caliente tipo MDC-2	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
450.3 Mezcla densa en caliente tipo MDC-3	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
450.4 Mezcla semidensa en caliente tipo MSC-1	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
450.5 Mezcla semidensa en caliente tipo MSC-2	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
450.6 Mezcla gruesa en caliente tipo MGC-0	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
450.7 Mezcla gruesa en caliente tipo MGC-1	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
450.8 Mezcla de alto módulo	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
450.9 Mezcla en caliente para bacheo	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )

Nota :

Se deberá elaborar un ítem de pago diferente, para cada tipo de mezcla y capa que forme parte del contrato. Ellos se identificarán agregando cifras al esquema numerado del ítem. Por ejemplo, si el contrato considera dos mezclas del tipo MDC-1, una para capa de rodadura y otra para capa intermedia, se podrán identificar así:

450.1.1 Mezcla densa en caliente tipo MDC-1, para capa de rodadura.

450.1.2 Mezcla densa en caliente tipo MDC-1, para capa intermedia.