

Mezclas asfálticas en caliente con cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR)

Artículo 467 – 22

467.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una o más capas de mezcla asfáltica, preparada y colocada en caliente (concreto asfáltico), de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

La presente especificación hace referencia a las mezclas asfálticas en caliente en donde se haya efectuado la incorporación de Grano de Caucho Reciclado (GCR) como un agente modificador del asfalto. El GCR obtenido del proceso de reencauchado de las llantas o de su troceado mediante acción mecánica, puede ser utilizado en las mezclas asfálticas como un agente modificador del asfalto.

El empleo del GCR en las mezclas asfálticas en caliente solo produce resultados de buena calidad si se parte de materiales bien estudiados y métodos de diseño y construcción adecuados.

La utilización de GCR por el proceso húmedo proporciona un asfalto modificado que puede ser empleado en la elaboración de mezclas asfálticas tal como se ha especificado para este tipo de producto.

467.2 Materiales

467.2.1 Cemento asfáltico modificado con GCR

El material bituminoso empleado para elaborar la mezcla asfáltica en caliente debe ser el cemento asfáltico modificado con GCR que corresponda a los tipos I, II o III del artículo 413, Suministro de cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado. El tipo por utilizar corresponde al definido en los documentos del proyecto, tomando como base las guías climatológicas de la norma ASTM D6114, adaptadas a condiciones nacionales, tal como se menciona a continuación en la Tabla 467 – 1:

Tabla 467 – 1. Tipo de asfalto por emplear en mezclas con asfaltos modificados con GCR

Nivel de tránsito NT2 / NT3		
Temperatura media anual de la región (°C)		
> 24	15 - 24	< 15
Tipo I	Tipo II	Tipo III

Las características y especificaciones complementarias para el cemento asfáltico modificado con GCR se encuentran igualmente establecidas en el artículo 413 de las presentes especificaciones.

467.2.2 Grano de Caucho Reciclado (GCR)

El GCR debe presentar las características que se mencionan en la Tabla 413 – 1 del artículo 413, de las presentes especificaciones, y su granulometría se debe acomodar dentro de alguna de las presentadas en la Tabla 413 – 2 del mismo artículo.

Cuando el porcentaje de GCR sea igual o superior al 15% (fracción en masa) del asfalto por vía húmeda, el proceso de modificación se denomina de alta viscosidad y debe cumplir con los requisitos físicos de la Tabla 413 – 3 (asfalto – caucho fresco).

Cuando el porcentaje de GCR sea inferior al 15% (fracción en masa) del asfalto por vía húmeda, el proceso de modificación se denomina de baja viscosidad y debe cumplir con los requisitos físicos de la norma AASHTO M320.

467.2.3 Agregados pétreos y llenante mineral

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben satisfacer los requisitos del artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico), numerales 450.2.1.1, 450.2.1.2 y 450.2.1.3.

Para el caso de la proporción del llenante mineral de aporte que tenga características rigidizantes (cemento hidráulico o ceniza volante), su proporción respecto a la masa del llenante total no puede superar los valores límites de la Tabla 450 – 4.

La granulometría de los agregados puede ser cualquiera de las definidas en la Tabla 467 – 2, o aquella granulometría de aceptación internacional (ver Anexo A) que demuestre un correcto desempeño para este tipo de mezcla en su fabricación, extendido, compactación y puesta en servicio.

Tabla 467 – 2. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas con GCR

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. Standard)								
	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,60	0,30	0,075
	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 200
Pasa tamiz (%)									
M-GCR-25	100	90 - 100	65 - 85	50 - 70	30 - 45	16 - 28	6 - 16	4 - 12	2 - 6
M-GCR-19		100	90 - 100	70 - 90	35 - 50	20 - 32	8 - 18	5 - 14	2 - 6
M-GCR-12			100	90 - 100	50 - 65	28 - 40	12 - 22	6 - 16	3 - 7
Tolerancias en la fórmula de trabajo (±)	4 %				3 %			2 %	

Cuando se trabaje con mezclas discontinuas en caliente, se deben satisfacer los requisitos del artículo 452, Mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura (microaglomerado en caliente), numeral 452.2.1.

El tipo de mezcla asfáltica en caliente por emplear debe depender del tipo y del espesor compacto de la capa asfáltica conforme con lo indicado en los documentos del proyecto y siguiendo los criterios de la Tabla 467-3.

Tabla 467 – 3. Tipo de gradación por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

Tipo de capa	Espesor compacto (mm)	Tipo de mezcla
RODADURA	35 - 45	M-GCR-12
	45 - 60	M-GCR-12 M-GCR-19
	> 60	M-GCR-19 M-GCR-25
INTERMEDIA	> 60	M-GCR-25

467.3 Equipo

Al respecto, se debe considerar lo que resulte aplicable de lo indicado en el numeral 400.3 del artículo 400, Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos. En relación con el detalle del equipo necesario para la ejecución de los trabajos, adicionalmente se debe tener en cuenta lo que se indica a continuación.

Los carrotanques empleados para el transporte del cemento asfáltico deben estar dotados de sistemas de calentamiento, de agitación y de medios neumáticos o mecánicos adaptables, apropiados para el trasvase rápido de su contenido a los tanques de almacenamiento o inyección directa a la planta de producción de la

mezcla. El trasvase desde el carrotanque al tanque de almacenamiento se debe realizar siempre por tubería directa, aunque, por lo general, se recomienda que el material bituminoso no sea almacenado. En caso de ser depositado en tanques, debe mantenerse en agitación constante, con el fin de evitar la separación entre el GCR y el ligante, y previendo que no se presenten zonas dentro del tanque donde el producto no se encuentre en agitación constante o que se genere turbulencia. Para estas condiciones es importante tener en cuenta que el número total de ciclos de calentamiento en un asfalto modificado con GCR no debe ser mayor de dos (2); entendiéndose como un ciclo de calentamiento aquel en el cual, durante el almacenamiento del asfalto, la temperatura llegase a estar por debajo de ciento cuarenta grados Celsius (140 °C) y llevada posteriormente por encima de este valor para un futuro uso.

En caso de superar este número de ciclos el interventor puede permitir el uso del material bituminoso luego de que se verifique su viscosidad por medio del viscosímetro rotacional, el cual debe estar dentro de los límites fijados en el artículo 413; para tal fin se debe disponer de un adecuado equipo en campo que permita esta medición.

Para la compactación se deben utilizar compactadores de rodillos metálicos autopropulsados, con o sin vibración y dotados de inversores de marcha suave. No se recomienda usar compactador de neumáticos para evitar que la mezcla se adhiera a estos. En caso de utilizar equipos vibratorios se recomienda ejecutar un número mínimo de pasadas para evitar fracturación y/o debilitamiento de los agregados pétreos.

El equipo de compactación por emplear en cada caso va a depender del tipo de capa asfáltica y su espesor, y debe contar con la aprobación del interventor, con base en los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

467.4 Ejecución de los trabajos

Al respecto, se aplica todo lo que resulte pertinente del numeral 450.4 del artículo 450. Adicionalmente se debe tender en cuenta lo que se indica a continuación.

467.4.1 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

467.4.1.1 Generalidades

Rige todo lo que resulte aplicable en los numerales 400.4.2, 400.4.3 y 400.4.4 del artículo 400.

467.4.1.2 Diseño de la mezcla

Para la elaboración de mezcla asfáltica con un asfalto modificado con GCR la temperatura de mezclado de los agregados pétreos y el asfalto-caucho corresponde a la que indique el proveedor del material bituminoso en el reporte de calidad. Las

mezclas en caliente objeto del presente artículo se deben diseñar siguiendo los pasos descritos en la Tabla 467 – 4, adicionando lo correspondiente a las curvas reológicas del asfalto modificado con GCR.

Tabla 467 – 4. Pasos por seguir para el diseño de mezclas asfálticas con GCR

Pasos	Descripción	Numeral
Diseño preliminar	- Estabilidad - Flujo - Propiedades volumétricas (Marshall)	467.4.1.2.1
Determinación intervalo óptimo	- Resistencia al ahuellamiento	467.4.1.2.2
Verificación del diseño	- Evaluación adherencia - Módulo resiliente - Resistencia a la fatiga	467.4.1.2.3
Ajuste de la fórmula de trabajo	- Por resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación - Por variación de la procedencia o de las características de alguno de los componentes de la mezcla o cuando se rebasan las tolerancias granulométricas	467.4.1.2.4

467.4.1.2.1 Diseño preliminar

La elaboración del diseño se inicia con el método descrito en la norma INV E-824 empleando el equipo Marshall. Los criterios para la definición del porcentaje óptimo de asfalto hipotético de la mezcla son los indicados en la Tabla 467 – 5.

Tabla 467 – 5. Criterios para el diseño preliminar de mezclas asfálticas con GCR

Característica	Criterio categorías NT2 / NT3	Norma de ensayo INV	
Compactación (golpes / cara)	75	INV E-824	
Contenido de asfalto-caucho (%)	6,0 - 9,0		
Estabilidad mínima (N)	8 250		
Flujo (mm)	2,5 - 5,5		
Vacios con aire (%)	3,0 - 5,0	INV E-799	
Vacios en agregados minerales (%)	M-GCR-25		> 14
	M-GCR-19		> 15
	M-GCR-12	> 16	
Vacios llenos de asfalto - VFA (%)	Reportar	INV E-741	
Relación filler/ligante (p/p)	Reportar		
Espesor promedio mínimo de película de asfalto (µm)	7,5		

467.4.1.2.2 Determinación del intervalo óptimo

El contenido óptimo de ligante se define por medio de la resistencia a la deformación plástica en pista de ensayo de laboratorio, preparando un mínimo de dos (2) probetas para tres (3) contenidos de asfalto, tomando el valor óptimo preliminar y una variación en él de más o menos cero coma tres por ciento ($\pm 0,3 \%$) para evaluar el cumplimiento en el intervalo de la fórmula de trabajo a entregar. Los requisitos de cumplimiento en la resistencia al ahuellamiento se muestran en la Tabla 467 – 6.

Tabla 467 – 6. Verificación de resistencia a la deformación de mezclas asfálticas con GCR

Propiedad	Valor del criterio	Norma de ensayo
Resistencia a la deformación plástica: velocidad máxima de deformación en el intervalo de tiempo de 105 a 120 minutos ($\mu\text{m}/\text{min}$)		INV E-756
Temperatura media anual del aire $> 24 \text{ }^\circ\text{C}$	12	
Temperatura media anual del aire $\leq 24 \text{ }^\circ\text{C}$	15	

Para el control de la resistencia de la mezcla a la deformación plástica se pueden 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 deben definir con base en especificaciones internacionales de comprobada aceptación. En cualquiera de los casos las probetas que se sometan a este ensayo deben ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo (corto plazo) según la norma de ensayo AASHTO R-30.

Si la mezcla no cumple con el requisito de resistencia a la deformación, se debe rediseñar con una nueva combinación de agregados y la incorporación de llenante mineral de aporte, que puede ser cemento hidráulico o cal hidratada.

467.4.1.2.3 Verificación del diseño

El diseño previo que cumpla los requisitos de la Tabla 467 – 5 y la Tabla 467 – 6 se debe someter a las pruebas de verificación relacionadas en la Tabla 467 – 7 y cumplir los requisitos allí establecidos. Las probetas se deben elaborar con la mezcla definida como óptima mencionada en el numeral anterior.

Tabla 467 – 7. Verificación del diseño de mezclas asfálticas con GCR

Propiedad	Valor del criterio	Norma de ensayo INV
Adherencia: mínima resistencia conservada (%)	80	E-725
Módulo resiliente (MPa)	Los documentos del proyecto definen los valores a cumplir	E-749
Resistencia a la fatiga		E-784 E-808

Los ensayos de módulo resiliente y resistencia a la fatiga se deben realizar bajo condiciones de densidad, temperatura y frecuencia representativas de las condiciones reales de operación del pavimento, las cuales deben estar estipuladas en los documentos técnicos del proyecto. Estos ensayos pueden ejecutarse según los procedimientos definidos en la norma europea EN-12697-24/26. En cualquiera de los casos las probetas que se lleven a estos ensayos deben ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo (corto plazo) según la norma de ensayo AASHTO R-30. Aunque los resultados de estos ensayos no tienen por finalidad la aceptación o el rechazo de la mezcla por parte del interventor, el constructor debe asegurar que los módulos dinámicos y leyes de fatiga de las mezclas que elabore sean adecuadas para las necesidades de tránsito del proyecto donde se va a utilizar, por cuanto es de su entera y única responsabilidad cualquier deterioro prematuro atribuible exclusivamente a la fatiga de las capas asfálticas, durante el periodo de garantía de estabilidad de la obra.

467.4.1.2.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se puede 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 debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

467.4.2 Preparación de la superficie existente

Rige lo indicado en el numeral 450.4.3 del artículo 450.

467.4.3 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

467.4.4 Aprovisionamiento de los agregados

Rige lo indicado en el numeral 450.4.5 del artículo 450.

467.4.5 Fabricación de la mezcla asfáltica

Rige lo indicado en el numeral 450.4.6 del artículo 450.

467.4.6 Transporte de la mezcla

Rige lo indicado en el numeral 450.4.7 del artículo 450.

467.4.7 Transferencia de la mezcla

Rige lo indicado en el numeral 450.4.8 del artículo 450.

467.4.8 Extensión de la mezcla

Rige lo indicado en el numeral 450.4.9 del artículo 450.

467.4.9 Compactación de la mezcla asfáltica

La compactación de la mezcla se debe realizar de acuerdo con el plan propuesto por el constructor y aprobado por el interventor, durante la fase de experimentación. Debe 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. Se recomienda establecer una temperatura de ciento treinta y cinco grados Celsius (135 °C) como la mínima para realizar una adecuada compactación de la mezcla asfáltica.

La compactación se debe hacer con requisitos adecuados que permitan alcanzar los niveles de densidad requeridos y se deben seleccionar de tal forma que no se fracture el agregado y/o desplace la mezcla, y que tengan la capacidad de cambiar de dirección con suavidad sobre la mezcla ya compactada. La densidad final de la mezcla debe estar en el noventa y cinco por ciento (95 %) del valor medido en el ensayo de gravedad específica máxima teórica (G_{mm}).

Para los cilindros vibratorios el número de pasadas debe ser el mínimo posible, de tal forma que no se altere la resistencia de los agregados, ni se generen fracturas en los mismos.

467.4.10 Juntas de trabajo

Rige lo indicado en el numeral 450.4.11 del artículo 450.

467.4.11 Pavimento sobre puentes, viaductos, obras de urbanismo y estructuras de redes de servicios

Rige lo indicado en el numeral 450.4.12 del artículo 450.

467.4.12 Apertura al tránsito

No se debe permitir el tránsito público, hasta que la mezcla compactada pueda soportar el paso de los vehículos sin que se produzcan desplazamientos. Durante las primeras cuarenta y ocho horas (48 h) a partir de la apertura, se debe limitar la velocidad para impedir que se produzcan marcas o irregularidades causadas por aceleraciones, frenadas o giros bruscos sobre la capa.

467.4.13 Limitaciones en la ejecución

Rige lo indicado en el numeral 450.4.15 del artículo 450.

467.4.14 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

467.4.15 Reparaciones

Rige lo indicado en el numeral 450.4.17 del artículo 450.

467.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

Al respecto, se aplica todo lo que resulte pertinente del numeral 450.5 del artículo 450. Adicionalmente se debe tener en cuenta lo que se indica a continuación.

467.5.1 Controles

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

El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo son de obligatorio cumplimiento tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

467.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Los requisitos que se exigen en esta sección sobre la calidad de los materiales son un conjunto de propiedades que buscan garantizar un adecuado desempeño con el tiempo de las estructuras construidas. La evaluación de los materiales no se centra en un único parámetro sino en el conjunto de los mismos; por tal motivo, la aprobación de los materiales a ser empleados debe ser sustentada mediante un informe técnico desarrollado por un especialista en el tema, donde se consigne cual debe ser el desempeño de las capas construidas relacionando los resultados obtenidos de la caracterización de los materiales con sus posibles cambios en el proceso de construcción, al igual que la durabilidad y el desempeño en el periodo de diseño, proponiendo las estrategias necesarias a nivel constructivo para garantizar el cumplimiento de las exigencias del diseño.

467.5.2.1 Calidad del cemento asfáltico modificado con GCR

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el cemento asfáltico modificado con GCR corresponden a los establecidos en el artículo 413.

467.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.2 del artículo 450.

467.5.2.3 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador o del silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, se debe controlar el aspecto de la mezcla y se debe medir su temperatura. Se deben rechazar 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 deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Se deben realizar los siguientes controles cuantitativamente:

467.5.2.4 Calidad de la mezcla asfáltica

Para el control de la producción de la mezcla asfáltica se deben realizar ensayos de granulometría, contenido de asfalto-caucho, estabilidad, flujo, vacíos con aire y densidad máxima medida (G_{mm}), de acuerdo con la Tabla 467 – 5.

Adicionalmente se debe verificar que se cumpla con el contenido de GCR mínimo requerido en el asfalto y evaluar la resistencia a la deformación plástica y resistencia a la humedad al menos una vez por semana.

El interventor puede solicitar la evaluación del módulo resiliente y de la resistencia a la fatiga para verificar su concordancia con las hipótesis de diseño y conformidad del producto durante la ejecución de la obra.

467.5.2.4.1 Contenido de asfalto

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.3.1 del artículo 450.

467.5.2.4.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la composición granulométrica de los agregados, según la norma de ensayo INV E-782. La curva granulométrica de cada ensayo individual debe 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 467 – 2, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

En caso de que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este agregado. Esta muestra se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 467.4.1 de esta especificación. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se debe rechazar el lote.

En caso de rechazo, la capa de mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR correspondiente al lote controlado se debe retirar, preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor,

sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado, en caso de rechazo, es de propiedad del constructor.

467.5.2.4.3 Vacíos con aire de probetas compactadas

Con un mínimo de dos (2) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, se deben compactar probetas (dos (2) por muestra) para verificar en el laboratorio su gravedad específica bulk (normas INV E-733 o INV E-802), y su estabilidad y flujo en el ensayo Marshall (normas INV E-748 o INV E-800, según corresponda). La compactación se debe hacer aplicando el número de golpes indicado en la Tabla 467 - 5.

Así mismo, sobre una muestra representativa de la mezcla del lote, se debe determinar la gravedad específica máxima (G_{mm}), mediante las normas de ensayo INV E-735 o INV E-803.

Para cada una de las probetas se debe calcular los vacíos con aire mediante la norma de ensayo INV E-736, a partir de su gravedad específica bulk y de la gravedad específica máxima de la muestra representativa del lote. El valor promedio de los vacíos con aire de las cuatro (4) probetas se debe encontrar en el rango establecido en la Tabla 467 – 5, sin que ningún valor individual se pueda alejar en más de cero coma cinco 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. En este caso, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor. Si el requisito de vacíos con aire se cumple, se debe determinar la estabilidad y el flujo de las cuatro (4) probetas.

467.5.2.4.4 Estabilidad

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

$$E_m \geq 0,90 * E_t \text{ [467.1]}$$

Ningún valor individual (E_i) puede 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 467 — 5.

$$1,25 * E_t \geq E_i \geq \text{valor mínimo de la Tabla 467 — 5 [467.2]}$$

Además, la estabilidad de cada probeta (E_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de estabilidad (E_m), admitiéndose solo un (1) valor individual por debajo de ese límite.

$$E_i \geq 0,80 * E_m \text{ [467.3]}$$

El incumplimiento de al menos una de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado se debe retirar, preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado, en caso de rechazo, es de propiedad del constructor.

467.5.2.4.5 Flujo

El flujo medio de las probetas sometidas al ensayo de estabilidad (F_m), se debe encontrar 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 debe permitir que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos en la Tabla 467 — 5.

$$0,80 * F_t \leq F_m \leq 1,20 * F_t \text{ [467.4]}$$

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido en la Tabla 467 — 5, pero no satisface la exigencia recién indicada en relación con el valor obtenido al determinar la fórmula de trabajo, el interventor debe decidir y establecer, al compararlo con las estabilidades, si el lote debe ser rechazado o aceptado.

467.5.2.4.6 Susceptibilidad a la humedad

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.4.5 del artículo 450.

467.5.2.4.7 Contenido de agua

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.4.6 del artículo 450.

467.5.2.5 Calidad del producto terminado

467.5.2.5.1 Tamaño del lote

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.1 del artículo 450.

467.5.2.5.2 Aspectos generales

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.2 del artículo 450.

467.5.2.5.3 Compactación

La determinación de la densidad de la capa compactada se debe realizar, como mínimo, en cinco (5) sitios por lote. Los sitios para la toma de muestras o las mediciones in situ se deben elegir al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

Para el control de la compactación de una capa de mezcla en caliente de gradación continua, se debe calcular su grado de compactación, a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno (ρ_i) y de los ensayos de gravedad específica máxima (G_{mm}) de laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$GC_i = \frac{\rho_i}{G_{mm}} \times 100 \quad \text{[467.5]}$$

Donde:

GC_i , valor individual del grado de compactación, en porcentaje.

ρ_i , valor individual de la densidad en el terreno, determinado por alguno de los métodos descritos en las normas INV E-733, INV E-734, INV E-746, INV E-787 o INV E-802.

G_{mm} , valor de la gravedad específica máxima de la mezcla, determinada mediante las normas de ensayo INV E-735 o INV E-803 sobre una muestra representativa del lote, según el numeral 450.5.2.4.1.

ρ_w , densidad del agua a veinticinco grados Celsius (25 °C) (77 °F), expresada en las mismas unidades que ρ_i (997,0 kg/m³ o 0,997 g/cm³).

Para el control de la compactación se deben aplicar los siguientes criterios:

$$GC_i (90) \geq GC_{\min} \text{ se acepta el lote [467.6]}$$

$$GC_i (90) < GC_{\min} \text{ se rechaza el lote [467.7]}$$

Donde:

$GC_i (90)$, límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del noventa por ciento (90 %), se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote, en porcentaje; se debe calcular según el numeral 107.3.1.3 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos, a partir de los valores individuales del grado de compactación (GC_i).

GC_{\min} , grado de compactación mínimo. Correspondiente al noventa y cinco por ciento (95 %) del valor medido en el ensayo de gravedad específica máxima teórica (G_{mm}).

La toma de muestras testigo se debe realizar de acuerdo con la norma INV E-758.

Solo se debe aceptar la determinación de la densidad de la capa compactada por medio de densímetros nucleares (norma de ensayo 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 se debe retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

467.5.2.5.3.1 Espesor

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

$$e_m \geq e_d \text{ [467.8]}$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0,90 * e_d \text{ [467.9]}$$

Si alguno de estos requisitos se incumple, se debe proceder como se indica a continuación. Todas las labores de corrección las debe ejecutar el constructor, sin cargo adicional para INVÍAS.

467.5.2.5.3.2 Para capas de rodadura

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.4.1 del artículo 450.

467.5.2.5.3.3 Para capas intermedias

Si el espesor promedio del lote es inferior al noventa por ciento del espesor de diseño ($e_m < 0,90 * e_d$), la capa que constituye el lote se debe rechazar y se debe levantar mediante fresado, y debe ser repuesta en el espesor adecuado, hasta ser aprobada por el interventor, sin costo alguno para INVÍAS.

Si el espesor promedio del lote es igual o mayor al noventa por ciento del espesor de diseño ($e_m \geq 0,90 * e_d$) y no existen deficiencias de lisura en la capa terminada, se debe autorizar compensar la deficiencia de espesor con el espesor adicional correspondiente en la capa de rodadura, sin costo adicional para INVÍAS.

Si la deficiencia ocurre en una capa elaborada con una mezcla de alto módulo, la compensación a que se hace referencia en el párrafo anterior no se debe realizar 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, la capa que constituye el lote se debe rechazar y se debe levantar mediante fresado, y debe ser repuesta en el espesor adecuado, hasta ser aprobada por el interventor, sin costo alguno para INVÍAS.

467.5.2.5.4 Segregación térmica

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.5 del artículo 450.

467.5.2.5.5 Planicidad

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.6 del artículo 450.

467.5.2.5.6 Textura

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.7 del artículo 450.

467.5.2.5.7 Resistencia al deslizamiento

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.4.8 del artículo 450, para NT1 y NT2.

467.5.2.5.8 Regularidad superficial

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.9 del artículo 450, para NT1 y NT2.

467.5.2.5.9 Correcciones por variaciones por causas no imputables al constructor

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.11 del artículo 450.

467.5.2.5.10 Medidas de deflexión

Rige lo indicado en el numeral 450.5.2.5.12 del artículo 450.

467.6 Medida

Rige lo descrito en el artículo 400 y en particular lo indicado en el numeral 400.6.2.

467.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el artículo 400 y en particular lo indicado en el numeral 400.7.3.

Se excluye del precio unitario el suministro del cemento asfáltico modificado con GCR, que se pagará de acuerdo con el artículo 413.

467.8 Ítem de pago

ítem	Descripción	Unidad
467.1	Mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR (M-GCR-25)	Metro cúbico (m ³)
467.2	Mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR (M-GCR-19)	Metro cúbico (m ³)
467.3	Mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR (M-GCR-12)	Metro cúbico (m ³)

ANEXO A

FRANJAS GRANULOMÉTRICAS ALTERNATIVAS PARA MEZCLAS
ASFÁLTICAS CON GCR

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. Standard)						
	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,075
	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 200
Pasa tamiz (%)							
TIPO I	100	90 - 100	77 - 93	59 - 76	28 - 49	14 - 27	2 - 8
TIPO II		100	84 - 100	77 - 93	28 - 49	14 - 27	2 - 8
Tolerancias en la fórmula de trabajo (±)			4 %			3 %	1 %

Fuente: CALTRANS – STATE OF CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (2010)