



La movilidad
es de todos

Mintransporte

CAPÍTULO 4

Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022



UNIVERSIDAD
DEL QUINDÍO



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

4

Pavimentos asfálticos

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

Artículo 400 – 22

400.1 Descripción

Esta especificación presenta las disposiciones que son generales a los trabajos de imprimación, riegos de liga y de curado, así como tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto y lechadas asfálticas, bases, capas de mezcla asfáltica, bacheos asfálticos en frío y en caliente y reciclados con productos bituminosos, a los cuales se refiere el capítulo 4 de las presentes Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras.

400.2 Materiales

400.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

400.2.1.1 Denominación

La Tabla 400 – 1 muestra la denominación del agregado según su tamaño, para el objeto de las especificaciones del capítulo 4.

Tabla 400 – 1. Denominación de los agregados minerales

Denominación	Descripción
Agregado grueso	Porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (nro. 4)
Agregado fino	Porción del agregado comprendida entre los tamices de 4,75 mm (nro. 4) y 0,075 mm (nro. 200)
Llenante mineral - Llenante mineral de aporte	Porción que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) - Fracción del llenante que se incorpora a la mezcla por separado

400.2.1.2 Aspectos generales

Los agregados pétreos no deben ser susceptibles de ningún tipo de alteración físico-química apreciable, bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente se puedan dar en la zona de empleo. Tampoco pueden

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, debe realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad y la inalterabilidad de los agregados por utilizar, independiente y complementariamente de los que se exigen en estas especificaciones.

Los agregados pétreos deben poseer una naturaleza tal que, al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo, esta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Solo se debe admitir el empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adhesividad satisfactoria, de acuerdo con las exigencias establecidas en cada uno de los artículos.

400.2.1.2.1 Agregado grueso

El agregado grueso debe proceder de la trituración y la clasificación de roca y/o grava; sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables.

El interventor puede rechazar cualquier material pétreo que presente sustancias objetables, que no permitan la adecuada adherencia del asfalto o que no cumplan los requisitos de los artículos correspondientes.

400.2.1.2.2 Agregado fino

El agregado fino debe estar constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última dentro del conjunto se encuentra definida en la respectiva especificación. Los granos del agregado fino deben ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material debe estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto.

400.2.1.2.3 Llenante mineral

El llenante mineral puede provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos o puede ser de aporte como producto comercial, generalmente cal hidratada o cemento hidráulico.

400.2.1.2.4 Requisitos de calidad

Los requisitos específicos de calidad de los agregados grueso y fino y del llenante mineral se especifican en los diferentes artículos del capítulo 4 de estas especificaciones.

400.2.1.3 Productos asfálticos

Los cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos líquidos deben cumplir los requisitos establecidos en los siguientes artículos del capítulo 4 de estas especificaciones.

- Cementos asfálticos: artículo 410.
- Emulsiones asfálticas: artículo 411.
- Cementos asfálticos modificados con grano de caucho reciclado: artículo 413.
- Cementos asfálticos modificados con polímeros: artículo 414.
- Emulsiones asfálticas modificadas con polímeros: artículo 415.
- Asfalto líquido: artículo 416.

400.2.2 Aditivos mejoradores de adherencia

Los aditivos mejoradores de adherencia se deben ajustar a lo descrito en el artículo 412.

400.3 Equipo

Todos los equipos empleados deben ser compatibles con los procedimientos de construcción

adoptados y requieren la aprobación previa del interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cumplimiento de las exigencias de calidad del presente artículo y del correspondiente a la respectiva partida de trabajo.

400.3.1 Equipo para la elaboración de los agregados triturados

La planta de trituración debe estar provista de una trituradora primaria, una secundaria y una terciaria siempre que esta última se requiera; debe incluir también una clasificadora y, de ser necesario, un equipo de lavado.

400.3.2 Planta para fabricación de mezclas asfálticas en caliente

La mezcla de concreto asfáltico se debe fabricar en plantas de asfalto de secamiento continuo, con sistema de mezclado y entrega tipo continuo o discontinuo, y con un sistema

de dosificación de agregados en frío o en caliente, capaz de manejar simultáneamente el número de fracciones de agregado que exija la fórmula de trabajo adoptada, y cumplir con las tolerancias especificadas en el artículo correspondiente al tipo de mezcla que se vaya a elaborar.

Las plantas productoras de mezcla asfáltica deben cumplir lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de vertimientos en cuanto a la calidad del ambiente (agua, suelos y aire); para su funcionamiento en la obra, se debe presentar previamente al Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) la autorización correspondiente o el permiso vigente de emisiones atmosféricas, expedido por la entidad nacional o regional encargada de otorgar tales permisos.

Para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente, se pueden usar plantas de los tipos y las características indicados en la Tabla 400 – 2.

Tabla 400 – 2. Tipos de plantas para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente

Tipo de planta		Requisitos
De mezcla discontinua (o de bachada)		Numeral 400.3.2.2
De mezcla continua	Tambor secador-mezclador	Numeral 400.3.2.3
	Mezclador de ejes paralelos	Numeral 400.3.2.4
	Mezclador de tambor	

400.3.2.1 Requisitos para todas las plantas

400.3.2.1.1 Automatización

La operación de la planta debe ser totalmente automática. Se debe disponer de un

cuarto de control con condiciones de higiene y comodidad adecuadas para el personal de operación. Debe tener un tablero o una consola que reúna en un solo sitio toda la información sobre las temperaturas, tanto de los gases como de los diferentes insumos y materiales, sobre la operación de la planta y

sobre los indicadores de los parámetros de producción de la mezcla y de la dosificación, tanto de los agregados pétreos como del ligante asfáltico y del aditivo, si se requiere su uso. Allí mismo se deben encontrar los dispositivos para controlar el inicio y la terminación de las jornadas de producción de mezcla y de manejo de su dosificación. No se debe permitir la operación de la planta cuya dosificación se realice solo por la manipulación de dispositivos mecánicos.

400.3.2.1.2 Calibración

Todos los dispositivos de medida de la planta deben contar con un certificado de calibración vigente. Además de las calibraciones, debe existir registro de mantenimiento periódico. Las calibraciones no deben superar dos (2) años, y los mantenimientos periódicos no deben exceder de un (1) trimestre, excepto que las condiciones del fabricante establezcan valores diferentes.

400.3.2.1.3 Capacidad de producción

La capacidad mínima de producción de la planta debe estar señalada en el pliego de condiciones y ella depende de las características de la obra por ejecutar.

El constructor debe suministrar la certificación sobre la capacidad máxima de producción de la planta de asfalto dada por el fabricante. Si la planta ha sido reformada, se debe entregar la certificación de la planta reformada, expedida por un ingeniero con experiencia documentada en manejo de plantas de asfalto. La certificación debe indicar las condiciones bajo las cuales se alcanza dicha capacidad máxima.

También, debe suministrar una certificación sobre la capacidad del quemador del secador, proporcionada por su fabricante.

400.3.2.1.4 Combustibles y protección contra el fuego

Los combustibles usados en la operación de la planta deben cumplir las exigencias sobre combustibles sólidos o líquidos establecidas en la Resolución del Ministerio del Medio Ambiente número 898 de 1995, adicionada por la Resolución número 125 de 1996, modificada parcialmente por las Resoluciones números 623 de 1998, 0068 de 2001, 0447 de 2003, 1565 de 2004, 1289 de 2005, 2200 de 2005, 1180 de 2006, 180782 de 2007, 182087 de 2007, 1499 de 2011, 90963 de 2014, 40724 de 2016 y 40619 de 2017, y sobre combustibles gaseosos en la Resolución de la Superintendencia de Industria y Comercio número 14471 de 2002, con énfasis en las NTC 2505, NTC 3631, NTC 3833 y NTC 4282 y con supervisión de un organismo de inspección acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) bajo la NTC-ISO-IEC 17020. Queda entendido que, si alguna disposición de las recientemente citadas es reemplazada en el futuro por la entidad nacional competente para ello, los requisitos por cumplir deben ser los de la disposición actualizada.

En la operación de las plantas asfálticas en caliente se pueden emplear también los combustibles gaseosos provenientes de la síntesis de biomasa y/o de combustibles sólidos, bajo la supervisión de un ingeniero con experiencia en la materia y debidamente matriculado, quien debe haber presentado previamente el proyecto y obtenido la aprobación expresa

de INVÍAS, y siempre y cuando el dispositivo usado y sus aditamentos no produzcan contaminaciones en las emisiones, que sobrepasen los límites establecidos en las normas y en la combustión y/o manipulación de los insumos utilizados y de los residuos, escorias o cenizas que aparezcan, de acuerdo con el decreto único 1076 de 2015 (o los que lo anulen, complementen, modifiquen y/o adicionen) y con la legislación complementaria sobre tratamiento de residuos sólidos y/o líquidos.

Los tanques de combustible y de asfalto deben estar dispuestos sobre diques que puedan contener, como mínimo, uno coma un (1,1) veces el volumen del tanque. Dichos diques deben contar con un pozo de achique que permita instalar un sistema de bombeo para recuperar el material derramado bien sea para su recuperación o para su disposición final. Así mismo, la planta debe contar con un sistema de extintores y medidas contra incendios acorde con los volúmenes de almacenamiento y tipo de combustibles. Todos los tanques deben contar con hojas de seguridad y rombos de identificación de riesgos según la norma NFPA 704. Los operadores de planta deben contar con las debidas medidas de protección para el riesgo laboral respectivo, acreditar cursos de prevención de incendio, manejo de extintores, manejo de sustancias químicas asociadas a su labor y manejo de emergencias en caso de incendio.

400.3.2.1.5 Dispositivos para toma de muestras

La planta que opere con combustibles sólidos o líquidos, debe contar con un dispositivo que permita muestrear los agregados del tambor

secador antes de recibir el producto asfáltico, para verificar que estos no contengan salpicaduras ni contaminaciones por posibles fugas o combustión incompleta del quemador. La producción de la mezcla se debe detener si hay signos de avería en el sistema de combustión, si ocurre una combustión incompleta o si se observa contaminación en los agregados o en la mezcla, y solo se puede reiniciar cuando el problema quede satisfactoriamente resuelto.

400.3.2.1.6 Tolvas para agregados en frío

Las tolvas para agregados en frío deben tener paredes resistentes y estancas, con bocas de anchura suficiente para que su alimentación se efectúe correctamente y cuya separación sea efectiva para evitar que se mezclen los agregados de tolvas diferentes; el equipo de cargue debe tener acceso directo e independiente a cada una de las tolvas.

El número mínimo de tolvas es función del número de fracciones de agregado que exija la fórmula de trabajo adoptada, pero, en todo caso, no debe ser inferior a tres (3) para las plantas discontinuas y/o de mezcla por fuera del tambor secador y cuatro (4) para las de tambor secador-mezclador, dos (2) de las cuales se asignan al agregado fino.

Las tolvas deben estar provistas de dispositivos de dosificación a su salida, que puedan ser ajustados y mantenidos en cualquier posición.

Con el fin de evitar discontinuidad en el flujo de salida del agregado fino, debido a su humedad natural, se debe exigir el uso de vibración, o cualquier otro método que se demuestre útil para tal fin.

400.3.2.1.7 Tambor-secador

La planta debe estar dotada de un tambor secador, que permita el secado continuo y eficiente 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 quemador del secador debe contar con una certificación del fabricante donde se indiquen, además de su capacidad, los parámetros de alimentación requeridos, tanto de aire como de combustible, ya sea este gaseoso, líquido o sólido, para que se cumplan las prestaciones informadas, incluyendo la limpieza de su combustión. La combustión, que debe ser completa, debe impedir la emisión de residuos que contaminen los agregados o la atmósfera.

400.3.2.1.8 Sistemas para el control de emisiones y la recuperación de finos

La planta debe tener, como mínimo, un sistema primario de recuperación de finos secos contenidos en los gases procedentes del secador.

La planta debe estar dotada también, como mínimo, de un sistema secundario de control de emisiones, seco o húmedo, instalado en serie y a continuación del sistema primario de recuperación de finos, que recoja lo que este ha permitido pasar y que sea lo suficientemente eficiente para impedir la emisión a la atmósfera de productos contaminantes y/o de partículas que sobrepasen los límites establecidos en la Resolución del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial número 909 de 2008 (modificada por las

Resoluciones números 1309 de 2010, 1377 de 2015 y 2267 de 2018) y en los sitios y condiciones establecidas en las Resoluciones números 2153 de 2010 y 2154 de 2010 del mismo Ministerio (modificada por la Resolución número 2254 de 2017) y/o en las disposiciones legales que anulen, complementen, modifiquen y/o adicionen dichas resoluciones.

400.3.2.1.9 Depósitos de almacenamiento de cemento asfáltico

El almacenamiento que requiera el cemento asfáltico antes de su aplicación se debe realizar en tanques adecuados para tal fin, los cuales deben tener los aparatos de medida y seguridad necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, situados en puntos de fácil acceso. Así mismo, se debe disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Cuando los tanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, los carrotanques empleados para el transporte del cemento asfáltico deben estar dotados de medios neumáticos o mecánicos apropiados para el trasvase rápido de su contenido a los tanques. Cuando se empleen bombas de trasvase, se deben preferir las de tipo rotativo a las centrífugas. El trasvase desde el carrotanque al tanque de almacenamiento se debe realizar siempre por tubería directa.

Todas las tuberías usadas para el trasvase del cemento asfáltico del carrotanque al tanque de almacenamiento y de este al equipo de empleo, deben estar dispuestas de manera que se puedan limpiar fácilmente después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

400.3.2.1.10 Manejo del cemento asfáltico

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del cemento asfáltico debe 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, las bombas, los tanques, etc., deben estar provistos de calefactores o aislamientos. La descarga de retorno del ligante a los tanques de almacenamiento debe ser siempre sumergida. Se deben disponer de termómetros, especialmente en la boca de salida al mezclador y en la entrada del tanque de almacenamiento. El sistema de circulación debe estar provisto de dispositivos para tomar muestras y para comprobar la calibración del dosificador.

400.3.2.1.11 Manejo del llenante mineral

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

Así mismo, si se determina que el llenante recuperado por el sistema primario de recuperación sobrepasa el máximo especificado en el artículo correspondiente a la mezcla que se está fabricando, se debe disponer de un sistema que permita el retiro dosificado del sobrante, de manera que dicha operación, además de conseguir su objetivo, no afecte la limpieza de operación de la planta.

400.3.2.1.12 Manejo de aditivos

En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación debe poseer un sistema

de dosificación de tales aditivos que tenga, como mínimo, la precisión del sistema de dosificación del ligante asfáltico.

400.3.2.1.13 Silo de almacenamiento

Si la planta posee un silo para el almacenamiento de la mezcla elaborada, su capacidad debe garantizar el flujo normal de los vehículos de transporte, así como que en las cuarenta y ocho horas (48 h) 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 debe 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.

400.3.2.2 Requisitos específicos para las plantas de tipo discontinuo

400.3.2.2.1 Clasificación de agregados en caliente

Las plantas de tipo discontinuo, o plantas de bachada, deben 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 estas, cuyas paredes deben ser resistentes y de altura suficiente para evitar que se mezclen los agregados de diferentes tolvas. Las tolvas en caliente deben tener un rebosadero, para evitar que el exceso de contenido se vierta en las contiguas o afecte el funcionamiento del sistema de clasificación; deben tener, también, un dispositivo de alarma, claramente perceptible por el operador, que avise cuando el nivel de la tolva

sea inferior al que proporcione la cantidad calibrada, y un dispositivo para la toma de muestras de las fracciones almacenadas.

400.3.2.2.2 Indicadores de la temperatura de los agregados y del asfalto

La instalación debe estar provista de indicadores de la temperatura de los agregados secos, situados a la salida del secador o en el sitio en donde ellos se van a mezclar con el asfalto; también, debe tener indicadores de temperatura del ligante asfáltico en el sitio en donde este sale al mezclador.

400.3.2.2.3 Dispositivos de dosificación

La precisión de los dispositivos de dosificación por peso de los agregados en caliente debe ser tal, que no permitan una desviación superior a cero coma cinco por ciento ($\pm 0,5$ %). Los dispositivos de dosificación ponderal del llenante y del ligante deben tener una precisión tal que no permitan una desviación superior a cero coma tres por ciento ($\pm 0,3$ %).

400.3.2.2.4 Alimentación del ligante bituminoso

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

400.3.2.3 Requisitos específicos para las plantas de tipo continuo con tambor secador-mezclador

400.3.2.3.1 Dosificación de agregados

El sistema de dosificación de los agregados debe ser ponderal y tener en cuenta su

humedad, para corregir la dosificación en función de ella. La rata de alimentación debe ser monitorizada continuamente por la báscula de la banda transportadora u otro dispositivo sincronizado con el mecanismo de alimentación del asfalto.

400.3.2.3.2 Dosificación de asfalto

El dispositivo medidor del asfalto debe 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 debe ser homogénea y de manera que no exista ningún riesgo de contacto con la llama, ni de someter al ligante a temperaturas inadecuadas.

400.3.2.3.3 Elaboración de la mezcla

El tambor debe calentar, cubrir y mezclar uniformemente los materiales, evitando su exposición directa a las llamas o cualquier otra fuente puntual de alta temperatura, y evitando cualquier sobrecalentamiento en los agregados, en el cemento asfáltico o en la mezcla, que pueda afectar adversamente las características y el comportamiento de la mezcla elaborada.

Se deben instalar pirómetros tanto a la salida del asfalto, para verificar su temperatura, como en el extremo de descarga del mezclador, para verificar la temperatura de la mezcla. La producción de la planta se debe limitar a la velocidad requerida para obtener una envuelta correcta de los agregados, cumpliendo con los requisitos de temperatura de agregados y del ligante según se haya determinado al establecer la fórmula de trabajo.

400.3.2.4 Requisitos específicos para las plantas de ejes paralelos o mezclador de tambor

Deben tener características geométricas y mecánicas tales que, en un solo proceso, proporcionen un flujo continuo y adecuado que permita una distribución uniforme del ligante asfáltico previamente dosificado. Deben disponer de elementos físico-mecánicos suficientes y adecuados para mezclar los agregados con el ligante bituminoso durante el tiempo y la temperatura adecuados, con el fin de obtener el recubrimiento total de los

agregados, libres de cualquier contaminación que afecte su adherencia.

El sistema no debe permitir ninguna fuga furtiva o goteo, ya sea de partículas de agregados o de ligante.

400.3.3 Planta para la fabricación de mezclas asfálticas en frío

Para la fabricación de mezclas asfálticas en frío, se pueden usar plantas de los tipos y características indicados en la Tabla 400 – 3.

Tabla 400 – 3. Tipos de plantas para la fabricación de mezclas asfálticas en frío

Tipo de planta	Requisitos
Planta fija	Numeral 400.3.3.1
Planta móvil	Numeral 400.3.3.2

Las plantas para mezclas en frío, deben ser capaces de manejar simultáneamente el número de fracciones de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Se permite el empleo de instalaciones de diferente concepción a las descritas en el presente numeral, siempre que cuenten con la aprobación del interventor y previos los ensayos que demuestren la calidad de la mezcla fabricada con ellas.

400.3.3.1 Planta fija

Si se utiliza una planta fija para la fabricación de una mezcla en frío, esta puede ser de tipo continuo o discontinuo y debe disponer del número necesario de tolvas, con

sus dosificadores, que le permita manejar, simultáneamente, el número de fracciones de agregados disponibles para obtener la granulometría seleccionada para la elaboración de la mezcla.

Las tolvas para agregados deben tener paredes resistentes, con bocas de anchura suficiente para que la alimentación se pueda realizar correctamente. La separación entre ellas debe evitar que se mezclen los agregados de tolvas diferentes. Además, sus dispositivos de salida deben permitir ajustes exactos para mantenerlos en cualquier posición. El número mínimo de tolvas debe estar en función del número de fracciones de agregados por emplear.

Las instalaciones de tipo discontinuo deben estar provistas de dispositivos de dosificación por peso, cuya exactitud sea superior a cero coma cinco por ciento (0,5 %). Los dispositivos de dosificación de agua y ligante deben tener una exactitud, como mínimo, de cero coma tres por ciento (0,3 %). El ligante, que debe tener un sistema idóneo de almacenamiento y alimentación, debe ser distribuido uniformemente en el mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no deben permitir fugas ni goteos.

Si se emplea una instalación de tipo continuo, un sistema de bandas transporta los agregados desde las tolvas hasta el mezclador, que debe ser del tipo de ejes gemelos, donde se incorpora el agua y el ligante bituminoso. Los dosificadores de agua y ligante deben estar sincronizados con los dosificadores de los agregados, de manera que se pueda reproducir la fórmula de trabajo. La planta debe disponer, además, de dispositivos para su calibración a la presión de trabajo, así como para la toma de muestras. En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación debe poseer un sistema de dosificación exacta de estos.

400.3.3.2 Planta móvil

Las plantas móviles o ambulantes deben estar montadas sobre bastidores autopropulsados. Estas plantas deben actuar al mismo tiempo como extendedoras. Deben constar de tolva de recepción de agregados ya mezclados y con la gradación adecuada, depósitos de agua y emulsión y eventuales aditivos, y dispositivos de alimentación de todos los materiales a la mezcladora. Deben disponer, además, de una extendedora que regule el

espesor y proporcione el perfil transversal y un buen acabado superficial. Preferiblemente deben contar con sistemas sincronizadores o secuenciadores que garanticen las debidas dosificaciones de materiales.

400.3.4 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 esta, ni circulen sobre superficies con riegos de imprimación o liga.

400.3.5 Equipo para la extensión de la mezcla

La extensión de las mezclas asfálticas se debe hacer con una pavimentadora autopropulsada, adecuada para extender y terminar la mezcla con un mínimo de precompactación, de acuerdo con los anchos y los espesores especificados.

La capacidad de la tolva, así como la potencia de la máquina, deben ser adecuadas para el tipo de trabajo que deba desarrollar. La pavimentadora debe estar equipada con un vibrador y un distribuidor de tornillo sinfín, de tipo reversible, capacitado para colocar la mezcla uniformemente por delante de los enrasadores. Debe poseer un equipo de dirección adecuado y tener velocidades para retroceder y avanzar.

La pavimentadora debe tener dispositivos mecánicos compensadores para obtener una superficie pareja y formar los bordes de la capa sin uso de formaletas. Debe ser

ajustable para lograr la sección transversal especificada en los documentos del proyecto.

Si se determina que durante su operación el equipo deja huellas en la superficie de la capa, áreas defectuosas u otras irregularidades objetables que no sean fácilmente corregibles durante la construcción, el interventor debe exigir su inmediata reparación o cambio.

En el caso de mezclas asfálticas en caliente, la pavimentadora debe estar dotada de un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal.

400.3.6 Equipo de compactación

Se deben utilizar compactadores autopropulsados de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios, neumáticos o mixtos. El equipo de compactación por emplear en cada caso debe 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.

Todos los compactadores deben ser autopropulsados y estar dotados de inversores de marcha suaves; además, deben contar con 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 deben presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios deben disponer de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático.

Los compactadores de neumáticos deben tener 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, deben ser 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.

En lugares inaccesibles a los equipos normales de compactación, se permite el uso de otros equipos de tamaño y diseño adecuados para la labor por realizar.

400.3.7 Equipos de transporte

Todos los vehículos de transporte deben cumplir todas las disposiciones legales referentes a las dimensiones y pesos de los vehículos de transporte, a las condiciones técnico-mecánicas, a las de control de emisiones contaminantes de los mismos y a las de señalización luminosa y cintas retrorreflectivas; deben tener al día los certificados de revisión técnico-mecánica y de emisiones contaminantes.

400.3.7.1 Carrotanque para transporte de cemento asfáltico

El transporte del cemento asfáltico desde la planta de producción a la planta mezcladora, se debe efectuar en caliente y a granel, en carrotanques con adecuados sistemas de calefacción y termómetros ubicados en sitios visibles. Deben estar dotados, además, de

los medios mecánicos que permitan el rápido trasvase de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, deben disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

400.3.7.2 Carrotanque para transporte de emulsión asfáltica

El transporte de la emulsión asfáltica desde la planta de fabricación hasta el sitio de colocación se debe realizar a granel, en carrotanques que no requieren aislamientos térmicos ni calefacción. Deben estar dotados de los medios mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, debe disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

400.3.7.3 Equipo para el transporte de agregados y mezclas asfálticas

Tanto los agregados como las mezclas asfálticas se deben transportar en volquetas de platón liso y estanco, debidamente acondicionadas para tal fin. En el caso de transporte de mezclas asfálticas, la superficie interna del platón debe ser tratada con un producto cuya composición y cantidad deben ser aprobadas por el interventor, con el fin de evitar la adherencia de la mezcla a esta. La forma y la altura del platón deben ser tales que, durante el vertido en la pavimentadora, la volqueta solo toque a esta a través de los rodillos previstos para ello, en los casos en los que no se emplee el equipo para la transferencia de la mezcla mencionado en el numeral 400.3.4.

400.3.8 Equipos para la extensión de riegos

400.3.8.1 Carrotanque irrigador

Toda aplicación de productos asfálticos en forma de riego se debe realizar por medio de un carrotanque irrigador. Se prohíbe la aplicación de riegos con escoba o empleando recipientes que apliquen el producto por gravedad. Esto es aplicable para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, sellos de arena-asfalto y tratamientos superficiales cubiertos por las presentes especificaciones generales.

El carrotanque irrigador debe cumplir exigencias mínimas que garanticen la aplicación uniforme y constante del producto asfáltico para imprimación, a la temperatura apropiada, sin que lo afecten la carga, la pendiente de la vía o la dirección del vehículo. Sus dispositivos de irrigación deben proporcionar una distribución transversal adecuada del ligante. El vehículo debe estar provisto de un velocímetro calibrado en metros por segundo (m/s), o pies por segundo (pie/s), visible al conductor, para mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme del asfalto en sentido longitudinal.

El carrotanque debe aplicar el producto asfáltico a presión y para ello debe disponer de una bomba de impulsión, accionada por motor y provista de un indicador de presión. También, debe estar provisto de un termómetro para el ligante, cuyo elemento sensible no se puede encontrar cerca de un elemento calentador.

Para áreas inaccesibles al carrotanque y para retoques y aplicaciones mínimas, se debe usar una caldera regadora portátil, con

sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carrotanque con boquilla de expansión que permita un riego uniforme.

400.3.8.2 Equipo para la extensión del agregado pétreo

Se pueden emplear esparcidoras autopropulsadas o extendedoras mecánicas acopladas a volquetas, que garanticen una adecuada y homogénea distribución del agregado pétreo sobre la superficie.

400.3.8.3 Equipo multidistribuidor de asfalto y agregado

En lugar del carrotanque irrigador y del equipo de extensión del agregado pétreo, descritos en los numerales 400.3.8.1 y 400.3.8.2, se puede emplear un equipo multidistribuidor que permita la aplicación conjugada del ligante asfáltico y el agregado en una sola operación.

400.3.9 Equipo accesorio

Debe estar 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 termográfica para controlar temperaturas, etc.

400.4 Ejecución de los trabajos

400.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

400.4.2 Fórmulas de trabajo para mezclas asfálticas, tratamientos superficiales y lechadas asfálticas

Antes de iniciar el acopio de los agregados, el constructor debe suministrar, para verificación del interventor, muestras de estos, del producto bituminoso por emplear y de los eventuales aditivos, avaladas por los resultados de los ensayos de laboratorio que garanticen la conveniencia de emplearlos en el tratamiento o mezcla. Una vez el interventor efectúe las comprobaciones que considere convenientes y dé su aprobación a los componentes, el constructor debe definir una fórmula de trabajo que obligatoriamente debe cumplir las exigencias establecidas en la especificación correspondiente. En dicha fórmula se deben consignar el tipo y las características del ligante asfáltico; la granulometría de cada uno de los agregados pétreos y las proporciones en que ellos deben ser mezclados, junto con el llenante mineral, para obtener la gradación aprobada, así como la granulometría de los agregados combinados.

En el caso de mezclas y lechadas asfálticas se deben indicar, además, el porcentaje de ligante bituminoso en relación con la masa de la mezcla o de los agregados secos, y los porcentajes de aditivos, respecto de la masa del ligante asfáltico, cuando su incorporación resulte necesaria. Si la mezcla es en frío y requiere la incorporación de agua, se debe indicar la proporción de esta.

En el caso de mezclas en caliente, también se deben señalar:

- Los tiempos requeridos para la mezcla de agregados en seco y para la mezcla de los agregados con el ligante bituminoso.

- Las temperaturas máxima y mínima de calentamiento previo de los agregados y del ligante. En ningún caso, se deben introducir en el mezclador agregados pétreos a una temperatura que sea superior a la del ligante en más de quince grados Celsius (15 °C).
- Las temperaturas de mezcla con cemento asfáltico (máximas y mínimas), las cuales se deben determinar de acuerdo con la curva reológica (viscosidad vs. temperatura) del asfalto.

Cuando se trate del diseño de una mezcla reciclada en caliente, la fórmula debe señalar también:

- Proporciones en que se deben mezclar los agregados pétreos de reciclaje y los agregados pétreos de adición, así como la granulometría resultante de su mezcla, determinada por los tamices correspondientes a la franja granulométrica aprobada.
- Tipo y porcentaje de material bituminoso de adición, en relación con la masa de la mezcla.
- Porcentaje de agente rejuvenecedor, en relación con la masa del material bituminoso de reciclaje, si se requiere.
- Porcentaje de aditivo mejorador de adherencia, en relación con la masa del material bituminoso de adición.
- Las temperaturas máximas y mínimas de calentamiento previo de los agregados pétreos de adición, los agregados pétreos de reciclaje, del material bituminoso de adición y del agente rejuvenecedor. En ningún caso se pueden calentar los agregados pétreos de reciclaje a una temperatura superior a la del material bituminoso de adición.

La mezcla diseñada con la fórmula de trabajo debe ser verificada respecto de su sensibilidad ante la acción del agua.

Para algunas mezclas destinadas a capa de rodadura e intermedias se debe verificar, también, su resistencia al ahuellamiento, con los ensayos y los valores límite indicados en los artículos correspondientes del capítulo 4 de estas especificaciones. Esta verificación también se debe realizar a las mezclas de alto módulo.

Cuando se trate de tratamientos superficiales, el constructor debe informar al interventor las dosificaciones de ligante asfáltico y de agregados pétreos para los distintos riegos, incluyendo la posible incorporación de aditivos.

Si se trata de lechadas asfálticas, tratamientos superficiales y mezclas en frío y en caliente destinadas a capa de rodadura, la respectiva fórmula de trabajo debe asegurar el cumplimiento de las características de macrotextura superficial y resistencia al deslizamiento de la obra terminada, según lo establecido en cada uno de los artículos correspondientes a dichas partidas de trabajo.

La fabricación de las mezclas asfálticas y la puesta en obra de estas, y de los tratamientos superficiales y lechadas asfálticas, no se puede iniciar hasta contar con la aprobación de la correspondiente fórmula de trabajo por parte del interventor. La aprobación definitiva de la fórmula de trabajo por parte del interventor no exime al constructor de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida por la respectiva especificación. La fórmula aprobada solo se puede

modificar durante la ejecución de los trabajos, si las circunstancias lo aconsejan y previa aprobación del interventor.

400.4.3 Fase de experimentación en mezclas nuevas o recicladas, tratamientos y lechadas asfálticas

Antes de iniciar los trabajos, el constructor debe emprender una fase de experimentación para verificar el estado de los equipos y determinar, en secciones de ensayo de ancho y longitud definidas en acuerdo con el interventor, los métodos definitivos de preparación, transporte, colocación, compactación y eventual curado de la mezcla, lechada o tratamiento, así como las tasas de aplicación en obra, de manera que se cumplan los requisitos de la respectiva especificación. En el caso de la construcción de lechadas asfálticas, el proceso no debe incluir la etapa de compactación.

El interventor debe tomar muestras del tratamiento, lechada o mezcla, para determinar su conformidad con las condiciones especificadas que correspondan en cuanto a granulometría, dosificación, densidad y demás requisitos.

En caso de que el trabajo elaborado no se ajuste a dichas condiciones, el constructor debe efectuar inmediatamente las correcciones requeridas en los equipos y sistemas o, si llega a ser necesario, en la fórmula de trabajo, repitiendo las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones.

El interventor debe determinar si es aceptable la ejecución de los tramos de prueba como parte integrante de la obra en construcción.

En el caso de mezclas nuevas o recicladas, se debe establecer, durante la fase de experimentación, correlaciones entre los métodos corrientes de control de la dosificación del ligante y de la densidad en el terreno y otros métodos rápidos de control.

En el caso de tratamientos superficiales, lechadas asfálticas y mezclas en frío, se debe definir en esta fase sus tiempos de rotura y curado, con el fin de que se puedan tomar las previsiones necesarias en el control del tránsito público.

400.4.4 Muestreo y ensayos

El constructor debe tomar todas las muestras que exigen estas especificaciones, para verificar su conformidad con los requisitos impuestos en ellas; así mismo, debe permitir al interventor la toma de todas las muestras que le corresponda.

Siempre que los ensayos den resultados no satisfactorios, el constructor debe ser el responsable de las consecuencias que se deriven de ello, y todas las correcciones o reparaciones a que haya lugar corren a su exclusivo costo.

400.4.5 Transporte de materiales

En aquellos casos en que el transporte de materiales pueda perjudicar la obra en ejecución, el interventor debe ordenar la construcción de los desvíos necesarios. La construcción de estos desvíos no debe tener pago por separado y su costo debe estar incluido como parte del suministro de materiales en los precios unitarios de los ítems correspondientes.

400.4.6 Desvíos

Los desvíos que sea necesario construir durante la ejecución de las obras deben permitir la circulación de los equipos al servicio de la obra y el tránsito público en forma segura y sin inconvenientes. Si la construcción de desvíos no resulta práctica, el interventor puede autorizar las operaciones constructivas por medias calzadas.

En todos los casos, el constructor está obligado a colocar y mantener el personal y las señales necesarias para guiar el tránsito, de conformidad con lo que establece el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte. En caso de que no se cumplan estas condiciones, el interventor debe prohibir la ejecución de trabajos en las zonas afectadas.

400.4.7 Manejo ambiental

Todas las labores referentes a las actividades que son objeto de los artículos del capítulo 4 de estas Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en los estudios o evaluaciones ambientales del proyecto y las disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y de los recursos naturales. Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento de la especificación señalada deben acatar lo establecido en las normas ambientales. De esta manera, las actividades que se ejecuten en cumplimiento de la normativa ambiental deben estar incluidas en los costos del proyecto, por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Estas actividades implican el manejo de ligantes asfálticos, agregados pétreos y los tratamientos o mezclas elaboradas con ellos. En adición a los aspectos generales mencionados en el artículo 106, Aspectos Ambientales, se describen a continuación algunos de los cuidados relevantes en relación con la protección ambiental, sin perjuicio de los que exijan los documentos de cada proyecto particular o la legislación ambiental vigente.

En caso de contradicciones con lo indicado en el presente numeral deben prevalecer, en su orden, la legislación ambiental y lo indicado en los documentos del proyecto.

400.4.7.1 Ligante

- Sus depósitos se deben localizar en lugares apartados de cursos o láminas de agua.
- Alrededor de los depósitos se deben construir diques de contención para evitar la propagación de derrames accidentales.
- Los residuos de los carrotanques no pueden ser vertidos en la zona de derecho de vía, en estructuras de drenaje o en cauces o láminas de agua.
- En caso de vertimiento accidental del asfalto empleado en la ejecución de algún riego, dicho material debe ser recogido, incluyendo el suelo contaminado, y dispuestos en sitios de vertimiento construidos para tal fin y aprobados ambientalmente.
- Se debe evitar el sobrecalentamiento del producto en las plantas de mezcla en caliente.
- Los obreros que laboren en el transporte y disposición del asfalto deben ser dotados de los equipos apropiados de seguridad industrial.

400.4.7.2 Explotación y procesamiento de agregados pétreos

- No se debe permitir la explotación de fuentes de materiales en áreas de preservación ambiental.
- Se debe preferir la extracción de fuentes explotadas para el abastecimiento de obras anteriores, siempre que la calidad de sus materiales sea adecuada.
- Se debe planear adecuadamente la explotación de la fuente, de manera de minimizar los impactos resultantes del proceso y facilitar la recuperación ambiental al término de la explotación.
- Si los agregados se obtienen de fuentes comerciales, el interventor solo debe aceptar su uso después de que el constructor le haga entrega de una copia auténtica de la respectiva licencia ambiental de operación.
- Antes de iniciar la explotación de las fuentes, el constructor debe presentar al interventor, para su evaluación y eventual aprobación, un plan de explotación.
- No está permitida la quema como forma de desmonte del área por explotar.
- Se debe retirar cuidadosamente la capa vegetal de las zonas de explotación y mantenerla en buenas condiciones, para recuperarlas al término de la explotación.
- Se deben limitar al mínimo el desmonte, la limpieza y el descapote durante la construcción de las instalaciones de trituración y clasificación y la planta asfáltica.
- Si se deben interceptar drenajes naturales, ellos deben ser adecuadamente canalizados.
- La planta de trituración debe estar provista de los filtros necesarios para prevenir la contaminación ambiental, de acuerdo con la reglamentación vigente.
- Siempre que se requiera lavado durante el proceso de producción de agregados, los residuos que genera esta operación deben ser conducidos a piscinas de sedimentación.
- Tanto en las plantas de trituración como en las asfálticas, se debe realizar un seguimiento permanente al componente atmosférico durante su operación.
- El manejo de explosivos debe ser realizado por un experto.
- Los niveles de ruido y polvo causados por los procesos de explotación y procesamiento de los agregados deben ser mantenidos dentro de los límites admitidos por las disposiciones oficiales vigentes.
- Se debe procurar que las instalaciones de trituración y la planta asfáltica queden ubicadas en el mismo lote. Dichas instalaciones no se pueden situar en sitios ecológicamente sensibles, áreas con presencia de especies bióticas protegidas o en peligro de extinción, lugares con nivel freático cercano a la superficie o zonas con riesgo alto de inestabilidad geotécnica. El área debe ser aislada con malla o lonas para reducir la dispersión de materiales.
- El vertimiento de cualquier desperdicio sólido a cauces o láminas de agua es prohibido.
- El horario nocturno de trabajo debe ser limitado para no alterar la tranquilidad de la zona, en particular si las instalaciones están ubicadas cerca de zonas habitadas. Esta exigencia es también válida para la planta asfáltica y los trabajos mismos de construcción en la vía.
- Junto a las instalaciones de trituración se deben construir piscinas de sedimentación para la retención del polvo mineral que se pueda producir en exceso.
- Al concluir la fase de explotación de las fuentes, el constructor debe readecuar los

relieves del área, dejando los taludes con inclinaciones similares a las del entorno y con sus bordes superiores redondeados y realizar la recuperación del sistema de drenaje del lugar.

- Al desocupar las áreas de explotación y procesamiento, el constructor debe retirar todos los vestigios de ocupación del lugar, tales como estructuras, pisos, caminos internos, estacionamientos, escombros, etc. Así mismo, deben descompactar los suelos y restaurar la vegetación y el paisaje.

400.4.7.3 Plantas de mezcla en general

- Ninguna planta de mezcla se puede instalar a menos de doscientos metros (200 m), medidos desde el mezclador, de residencias, clínicas, colegios, y otras construcciones comunitarias.
- Las plantas productoras de mezcla asfáltica deben cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire, y para su funcionamiento en la obra se debe presentar a INVÍAS la correspondiente autorización, expedida por la entidad nacional o regional encargada de otorgar tales permisos.
- Las plantas no se pueden operar sin las licencias requeridas y, durante el desarrollo de los trabajos, se deben mantener en condiciones de operación dentro de lo prescrito en dichas licencias y en estas especificaciones.
- La planta debe contar con un sistema apropiado de control de polución de aire, conforme con los patrones establecidos en la legislación vigente.
- Los sitios de acopio de los agregados fríos deben disponer de cobertura y de protecciones laterales para evitar la gene-

ración de emisiones fugitivas durante las operaciones de carga y descarga.

- La banda transportadora de los agregados fríos debe ser protegida contra la acción del viento.
- Se deben implementar procedimientos que permitan que la alimentación al mezclador (mezclas en frío) o al secador (mezclas en caliente) se realice sin emisiones visibles a la atmósfera.
- Se deben mantener limpias las vías internas de acceso a la planta.
- Se deben mantener en buenas condiciones todos los equipos de proceso y de control.
- Las instalaciones deben contar con una señalización adecuada para el tránsito que circule dentro de ellas.

400.4.7.4 Plantas de mezcla en caliente

- Se deben operar con un combustible ambientalmente autorizado.
- Se debe mantener la presión negativa en el tambor secador cuando la planta esté en operación, para evitar emisiones de partículas a la entrada y a la salida de esta.
- En las plantas discontinuas, se debe dotar al sistema de clasificación en caliente y al mezclador, de sistemas de escape hacia los dispositivos de control de polución de aire, para evitar la emisión de vapores y partículas a la atmósfera.
- Los silos de almacenamiento del llenante mineral deben disponer de un sistema propio de filtración en seco.
- Se deben adoptar procedimientos operacionales que eviten la emisión de partículas provenientes de los sistemas de limpieza de los filtros de mangas y de reciclado del polvo mineral.

400.4.7.5 Transporte de agregados y mezclas

- El constructor debe tener en cuenta y cumplir todas las disposiciones sobre tránsito automotor y conservación del ambiente, emanadas por las autoridades competentes, en especial el Ministerio de Transporte y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Cuando viajen cargados, los vehículos deben tener un cobertor adecuado, debidamente asegurado, que impida el vertido de la carga sobre las vías por las que circulan.
- Antes de entrar a vías pavimentadas, se deben limpiar cuidadosamente las llantas de los vehículos. Los materiales resultantes de dicha limpieza no pueden ser arrojados a la zona de derecho de vía, ni a cursos de agua, ni a estructuras de drenaje superficial.

400.4.7.6 Transporte de materiales contaminantes o peligrosos

- Los materiales tales como combustibles, lubricantes, explosivos, asfaltos, aguas servidas no tratadas, desechos y basuras se deben transportar y almacenar adoptando las medidas necesarias para evitar derrames, pérdidas o daños por lluvias, hurtos o incendios.
- El constructor debe tener en cuenta y cumplir todas las disposiciones sobre tránsito automotor y conservación del ambiente, emanadas por las autoridades competentes, en especial el Ministerio de Transporte y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

400.4.7.7 Ejecución de riegos

- Se debe vigilar la viscosidad del ligante, para impedir que el riego fluya hacia las cunetas y zonas ajenas a la superficie por tratar.
- Los tratamientos superficiales terminados deben ser barridos adecuadamente para eliminar partículas sueltas, las cuales pueden ser proyectadas peligrosamente por las llantas hacia otros vehículos o hacia las zonas aledañas a la vía.
- Tanto cuando se construyan riegos como capas de mezcla, las operaciones de limpieza inherentes a cada actividad solo se pueden efectuar con escobas o sopladores mecánicos, cuando ello esté permitido por la autoridad ambiental competente.

400.4.7.8 Extensión y compactación de mezclas

- Se deben implementar medidas de seguridad industrial para proteger al personal durante las operaciones de extensión y compactación de mezclas en caliente.
- Se debe implementar un plan de control y manejo del tránsito, si las operaciones se desarrollan con la vía abierta al tránsito público.
- No se permite la disposición de residuos en las zonas aledañas a la superficie pavimentada.

400.4.7.9 Fresado de pavimentos asfálticos

- Se debe implementar un plan para el control y ordenamiento del tránsito automotor durante el desarrollo de los trabajos.

- La superficie fresada debe ser cubierta a la mayor brevedad, para corregir el impacto por generación de ruido.
- Los materiales fresados deben ser transportados hasta vertederos que tengan debida licencia para su funcionamiento, donde deben ser depositados atendiendo las indicaciones de los documentos del proyecto, y las instrucciones del interventor.
- Las operaciones de fresado, cargue y barrido deben contar con un manejo paliativo del polvo para minimizar la presencia de material particulado que cause molestias a las personas y bienes vecinos a la vía. Dicho manejo debe contar, como mínimo, con nebulización de agua y cobertura mediante carpas o plásticos para aquellos puntos donde se adelanten las operaciones de corte, se genere polución en las bandas transportadoras, en los puntos de descarga o en las zonas de barrido.

400.4.7.10 Reciclado de pavimentos asfálticos

- Se debe implementar un plan de control y manejo del tránsito automotor durante el desarrollo de los trabajos de reciclado en el lugar.
- Los materiales que resulten descartados del proceso deben ser conducidos a vertederos apropiados.
- Si en el proceso de reciclado en el lugar se incorporan estabilizantes en polvo, se deben tomar medidas para evitar las molestias que pueda causar su dispersión por la acción del viento.
- Para los reciclados en planta en caliente resultan aplicables los cuidados indicados en el numeral 400.4.7.4.

400.4.7.11 Manejo de desechos

El constructor debe indicar en su oferta el procedimiento completo que desea implementar para eliminar el desperdicio de su sitio. En este documento debe aparecer la lista completa de todos los residuos relacionados con sus sitios y con su clasificación. El constructor debe especificar los canales de eliminación.

Por último, el constructor se debe comprometer a proporcionar, dentro de un período de quince días (15 d) a partir del final de la recolección, un reporte de seguimiento de residuos, desde la recolección hasta el tratamiento final para cada tipo de desecho.

Los gastos correspondientes se incluyen en el conjunto de precios unitarios de la oferta. Además, el constructor debe tomar todas las disposiciones de acuerdo con las reglamentos vigentes con respecto al manejo de materiales peligrosos.

400.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

400.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y el funcionamiento de todo el equipo.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan todos los requisitos de calidad correspondientes a la partida de trabajo respectiva.
- Verificar el acatamiento de todas las medidas requeridas sobre seguridad y conservación del ambiente.

- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado como resultado de la fase de experimentación, en cuanto a la elaboración y manejo de los agregados, así como la manufactura, transporte, colocación y compactación de los tratamientos y mezclas asfálticas.
- Ejecutar ensayos de control de mezcla, de densidad de las probetas y de las mezclas de referencia, de densidad de la mezcla asfáltica compactada *in situ*, de extracción de asfalto y granulometría; así como controlar las temperaturas de mezclado, descarga, extendido y compactación de las mezclas (los requisitos de temperatura son aplicables solo a las mezclas elaboradas en caliente).
- Efectuar ensayos de control de mezcla, tasa de aplicación, extracción de asfalto y granulometría en lechadas asfálticas.
- Ejecutar ensayos para verificar las dosificaciones de agregados y ligante en tratamientos superficiales, así como la granulometría de aquellos.
- Efectuar ensayos para verificar las dosificaciones del ligante en riegos de liga y curado e imprimaciones.
- Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y de las mezclas o lechadas asfálticas, durante el período de ejecución de las obras.
- Efectuar pruebas para verificar la eficiencia de los productos mejoradores de adherencia, siempre que ellos se incorporen.
- Realizar las medidas necesarias para determinar espesores, levantar perfiles, medir la textura superficial y la resistencia al deslizamiento y comprobar la uniformidad de la superficie, siempre que ello corresponda.

El interventor debe evaluar las fórmulas de trabajo presentadas por el constructor y las debe aprobar cuando corresponda.

La toma de muestras para la ejecución de los diferentes ensayos de control se debe adelantar de acuerdo con las siguientes normas de ensayo, INV E-201 para agregados pétreos y llenantes minerales, INV E-701 para materiales bituminosos e INV E-731 para mezclas asfálticas.

El constructor debe rellenar con mezcla asfáltica, de la misma calidad de la extraída, y sin costo adicional para INVÍAS, todos los orificios realizados con el fin de medir densidades en el terreno y debe compactar el material de manera que su densidad cumpla con los requisitos indicados en la respectiva especificación.

También debe cubrir, sin costo para INVÍAS, las áreas en las que el interventor efectúe verificaciones de la dosificación de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales y lechadas asfálticas.

400.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

Tanto las condiciones específicas de recibo como las tolerancias para las obras ejecutadas se indican en los artículos correspondientes a las respectivas partidas de trabajo. Todos los ensayos y mediciones requeridos para el recibo de los trabajos especificados deben estar a cargo del interventor (opción 1 del numeral 107.2.2 del artículo 107, Control y aceptación de los trabajos), salvo que el pliego de condiciones del contrato establezca otra cosa (opciones 2 o 3 del citado numeral).

Para los fines de determinar la conformidad con estas especificaciones, un valor calculado u observado se debe redondear a la unidad más cercana en el último dígito de la derecha usado para expresar el límite de la especificación, de acuerdo con el método del redondeo de la norma INV E-823.

Aquellas áreas donde los defectos de calidad y las irregularidades excedan las tolerancias deben ser corregidas por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor hasta su respectiva aprobación, sin costo adicional para INVÍAS.

400.6 Medida

400.6.1 Ejecución de riegos de imprimación y liga, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto y lechadas asfálticas

La unidad de medida debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de todo trabajo ejecutado, aprobado por el interventor, de acuerdo con lo exigido por la especificación respectiva. El área se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje del trabajo, por el ancho especificado en los documentos del proyecto. No se debe medir ningún área por fuera de tales límites.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

No debe haber lugar a medida, para efecto de pago separado, del riego de curado que se aplique sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, con el fin de brindar impermeabilidad a toda su superficie.

400.6.2 Ejecución de mezclas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de mezcla elaborada, suministrada y compactada en obra, aprobada por el interventor, de acuerdo con lo exigido en la especificación respectiva.

El volumen se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo del eje del trabajo, por el ancho y espesor especificados en los documentos del proyecto. No se debe medir ningún volumen por fuera de tales límites.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

400.6.3 Ejecución de bacheos con mezcla asfáltica

La unidad de medida debe ser el metro cúbico (m^3), aproximado a la décima (0,1), de bacheo con mezcla asfáltica ejecutado, aprobado por el interventor, de acuerdo con lo exigido en la especificación respectiva.

El volumen se debe determinar multiplicando la superficie en donde el interventor haya autorizado el trabajo, por el espesor compacto promedio en que se haya colocado la mezcla, de acuerdo con la especificación respectiva. No se debe medir ningún volumen por fuera de tales límites.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

400.7 Forma de pago

400.7.1 Aspectos generales

Los siguientes aspectos generales aplican para todos los ítems de pago correspondientes a los diferentes artículos del capítulo 4 y, por tanto, forman parte conjunta con los numerales 400.7.2, 400.7.3 y 400.7.4, el que corresponda en cada caso particular.

En los casos en que el trabajo incluya el empleo de agregados pétreos vírgenes, el precio unitario debe cubrir todos los costos de su adquisición, obtención de todos los permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; la obtención de licencias ambientales, las instalaciones provisionales, los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos relacionados con la explotación, selección, trituración, eventual lavado, suministro de los materiales pétreos y llenante mineral, desperdicios, cargues, transportes, descargues, clasificación, colocación, mezcla, extensión y compactación de los materiales utilizados, en los casos en que ello corresponda.

También, debe incluir los costos de adecuación paisajística de las fuentes para recuperar las características hidrológicas superficiales al terminar su explotación y demás requisitos establecidos en el artículo 106 y en la normativa ambiental vigente; así como los costos de la definición de la fórmula de trabajo cuando se requiera; los de la fase de experimentación; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento y manejo de todo tipo de

tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con las instrucciones del interventor.

En relación con los explosivos, el constructor debe considerar dentro del respectivo precio unitario todos los costos que implican su adquisición, transporte, escolta, almacenamiento, vigilancia, manejo y control hasta el sitio e instante de utilización.

Los agregados pétreos de reciclaje que se vayan a reutilizar *in situ* o en caliente que provengan del fresado o de la recuperación de capas de pavimentos de carreteras a cargo de INVÍAS, son de propiedad de este y, por tanto, su suministro para la elaboración de mezclas recicladas no debe ser objeto de pago alguno al constructor.

En todos los casos, el precio unitario debe incluir el barrido y soplado de la superficie existente; la preparación de la superficie existente se considera incluida en el ítem referente a la ejecución de la capa a la cual corresponde dicha superficie y, por tanto, no debe haber lugar a pago separado por este concepto, a no ser que dicho ítem no haga parte del mismo contrato, caso en el cual el constructor debe considerar el costo de la preparación de la superficie existente dentro del ítem objeto del pago.

400.7.2 Ejecución de riegos de imprimación y liga, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto y lechadas asfálticas

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m²), para toda obra ejecutada de acuerdo con la

respectiva especificación y aprobada por el interventor.

En el caso de riegos de liga que se deban colocar sobre una capa cubierta por un riego de curado, el precio unitario del riego de liga debe incluir el costo de todas las operaciones necesarias para la eliminación del riego de curado.

En todos los casos, el precio unitario debe incluir el suministro en el sitio, almacenamiento, desperdicios y aplicación de los materiales bituminosos, modificadores, agua y aditivos mejoradores de adherencia y de control de rotura que se requieran; la protección de todos los elementos aledaños a la zona de los trabajos y que sean susceptibles de ser manchados por los riegos de asfalto, así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesarios para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

En el caso de las lechadas asfálticas, el precio unitario debe incluir la elaboración de la mezcla en el equipo de fabricación y extensión.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Se exceptúa el costo de suministro, almacenamiento, desperdicios y aplicación de materiales bituminosos en las paredes de la excavación y la superficie sobre la que se ha de colocar mezcla asfáltica en operaciones de bacheo, el cual se debe incluir dentro del precio unitario de dicha mezcla.

400.7.3 Ejecución de mezclas en frío y en caliente y bacheos con mezcla asfáltica

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cúbico (m³), para toda obra ejecutada de acuerdo con la respectiva especificación y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos de la elaboración, colocación, nivelación y compactación de las mezclas elaboradas.

En el caso de mezclas en frío, el precio unitario debe incluir, también, los costos de extracción, bombeo, transporte, suministro y aplicación del agua requerida, así como el curado de las mezclas compactadas.

El precio unitario, también, debe incluir el suministro y aplicación del asfalto para la pintura de adherencia en las juntas del pavimento y en las caras verticales, y la superficie sobre la cual se debe colocar mezcla asfáltica durante el relleno de las excavaciones para reparación del pavimento existente (bacheo) y, en general, todo costo relacionado con la correcta construcción de la capa respectiva, así como los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

En las mezclas asfálticas que se elaboren en caliente, el precio unitario debe incluir, también, los costos por el registro termográfico para establecer las temperaturas de colocación y compactación de las mezclas en obra.

Se excluyen del precio unitario el suministro y el almacenamiento del producto asfáltico para la mezcla, los cuales se deben pagar de acuerdo con la especificación referente a

dicho producto. En caso de que se requieran aditivos mejoradores de adherencia, su costo debe estar incluido dentro del precio unitario de la mezcla.

Las excavaciones para la reparación de un pavimento asfáltico existente se deben pagar de acuerdo con el artículo 465, excepto las que queden taxativamente cubiertas por el artículo 460.

400.7.4 Ejecución de reciclado de pavimentos asfálticos

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por metro cúbico (m³), por toda obra ejecutada de acuerdo con la respectiva especificación y aprobada por el interventor.

En los casos en que el trabajo requiera la incorporación de agregados pétreos nuevos, el precio unitario debe incluir todos los costos de suministro, de acuerdo con el numeral 400.7.1.

En el caso de reciclado de pavimentos *in situ*, el precio unitario debe incluir todos los costos por concepto de cortar y disgregar las capas asfálticas y granulares. También, debe incluir todos los costos de la extracción, bombeo, transporte, suministro, aplicación y mezcla del agua requerida, según se haya definido en la fórmula de trabajo, o la eventual aireación de la mezcla preparada; así como los del suministro e incorporación de los mejoradores de adherencia y de los controladores de rotura de la emulsión asfáltica; los de la aplicación y mezcla del agente de reciclado y de los demás elementos de aporte, incluyendo el calentamiento del cemento asfáltico en el caso de reciclados del tipo asfalto espumado;

la extensión de la mezcla elaborada, su nivelación, compactación y perfilado y el suministro y aplicación de la emulsión y arena requeridas para los riegos de curado y su barrido; el retiro y disposición final de sobretamaños y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del reciclado *in situ* del pavimento.

Se excluyen del precio unitario del reciclado de pavimentos *in situ*, los costos referentes a la demolición parcial y posterior reconstrucción de las estructuras de servicios públicos que requieran este tratamiento, según lo indicado en el numeral 461.4.4 del artículo 461. La ejecución de estos trabajos se debe pagar de acuerdo con la especificación particular respectiva que se elabore para tal fin.

En el caso de reciclado de pavimentos en planta y en caliente, el precio unitario debe incluir los costos de acopio, tratamiento y caracterización de los materiales fresados por reciclar; los de fabricación de la mezcla reciclada en caliente; los de almacenamientos eventuales de la mezcla elaborada y los de su transporte, descarga, extensión, nivelación y compactación en obra, así como los que implique el registro termográfico para dejar constancia de las temperaturas de colocación y compactación de la mezcla.

El precio unitario del reciclado de pavimentos en planta y en caliente debe incluir, también, todos los costos de suministro e incorporación en la mezcla del llenante mineral y de los mejoradores de adherencia que se requieran, de acuerdo con lo que establezca la fórmula de trabajo y los de incorporación del cemento asfáltico nuevo y de los agentes rejuvenecedores de reciclado que sean necesarios para

recuperar las propiedades del asfalto incluido en la mezcla disgregada; así como los correspondientes a cargues, almacenamiento, transportes, descargues, desperdicios, extensión y compactación de la mezcla reciclada; y el suministro y aplicación del asfalto para la pintura de adherencia en las juntas del pavimento y en las caras verticales y la superficie sobre la cual se debe colocar mezcla asfáltica reciclada en caliente durante el relleno de las excavaciones para reparación del pavimento existente (bacheo) y, en general, todo costo relacionado con la correcta y completa ejecución del trabajo especificado en el artículo 462.

Se excluyen del precio unitario del reciclado de pavimentos asfálticos en planta y en caliente todos los costos por concepto de disgregar las capas asfálticas en el espesor indicado en los documentos del proyecto, así como su cargue, transporte y disposición en los sitios de acopio aprobados, los cuales se deben pagar con cargo al artículo 460.

Deben formar parte del precio unitario, tanto de los reciclados *in situ* como en caliente, los costos de la definición de la fórmula de trabajo, los de la fase de experimentación y los de la adecuación paisajística de las fuentes que se hayan explotado para la obtención de los agregados nuevos, de manera de recuperar las características hidrológicas superficiales al terminar su explotación y demás requisitos establecidos en el artículo 106 y en la normativa ambiental vigente; también, todos los costos relacionados con la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento y manejo del tránsito automotor durante la ejecución de los trabajos y el período adicional que fije el interventor; los costos de los desvíos que

fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; así como los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

En los reciclados con productos bituminosos, se excluye del precio unitario el suministro del cemento asfáltico o la emulsión asfáltica, el cual se debe pagar de acuerdo con lo que establecen los artículos 410 y 411, respectivamente. También, se excluye el costo del suministro de los elementos de aporte (puzolanas) citados en el numeral 461.2.3 del artículo 461 para el reciclado *in situ* y el del rejuvenecedor del asfalto para el reciclado de mezclas en caliente, cuando este se requiera, los cuales se deben pagar de acuerdo con las especificaciones particulares respectivas.

En los reciclados que empleen ligantes hidráulicos, se excluye del precio unitario el suministro del agente de reciclado, el cual se debe pagar de acuerdo con lo que establezca la especificación particular que corresponda.

Las excavaciones requeridas para la reparación del pavimento existente se deben pagar de acuerdo con el artículo 465, salvo lo previsto en el numeral 465.1 de dicho artículo.

400.8. Ítem de pago

No es aplicable a este artículo

400.9 Glosario

A continuación, se listan algunos conceptos que se nombran en los distintos artículos que componen el capítulo 4.

400.9.1 Asfalto residual

Cantidad de asfalto remanente en la superficie después que la emulsión ha roto y curado.

400.9.2 Agregado de protección

Material que se aplica sobre el riego de imprimación o riego de curado, en una capa de pequeño espesor, de manera que brinde protección en caso de estar expuesto al tráfico inmediatamente después de su aplicación.

400.9.3 Arena natural

Material natural como aquel que proviene de depósitos glaciares, depósitos aluviales o material de arrastre, y es incorporada directamente a la mezcla sin ningún tipo de proceso industrial.

400.9.4 Bachada

Cantidad de mezcla asfáltica o de concreto que se prepara durante un ciclo del mezclador en las plantas de tipo discontinuo o por peso.

400.9.5 Bacheo

Reparación menor y localizada de un pavimento asfáltico, consistente en la excavación y remoción de los materiales deteriorados incluyendo capas granulares, y su reemplazo por otros de calidad satisfactoria, debidamente compactada.

400.9.6 Capa

Parte de una obra vial, formada por un material que se asume homogéneo, el cual es

colocado y compactado con espesor generalmente uniforme.

400.9.7 Capa asfáltica de nivelación

Capa asfáltica de espesor variable usada para eliminar irregularidades en el contorno de la superficie de una calzada pavimentada.

400.9.8 Capa asfáltica drenante

Capa superficial de pavimento, consistente en una mezcla de agregados de gradación abierta y asfalto modificado, elaborada en planta en caliente, que luego de compactada presenta un elevado volumen de vacíos con aire, lo cual permite el drenaje rápido de aguas lluvias a través de ella.

400.9.9 Capa asfáltica intermedia

Capa de mezcla asfáltica que se coloca entre la capa de base asfáltica y la capa de rodadura asfáltica, cuando el proyecto requiere la construcción de un pavimento con tres capas asfálticas.

400.9.10 Capa de base asfáltica

Capa construida con una mezcla asfáltica, cuyos agregados tienen un tamaño máximo superior al de los agregados usados para la construcción de la capa de rodadura.

400.9.11 Capa de rodadura asfáltica

Capa superior de un pavimento en contacto directo con el tránsito, cuyo tamaño máximo del agregado es inferior al de una base asfáltica.

400.9.12 Emulsión asfáltica

Dispersiones de pequeñas partículas de un cemento asfáltico en una solución de agua y un agente emulsificante. Deben presentar un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento asfáltico en la fase acuosa.

400.9.13 Emulsión asfáltica modificada con polímeros

Producto bituminoso compuesto por cemento asfáltico, agente emulsificante y agua, con adición de polímeros.

400.9.14 Lechada asfáltica

Mezcla de agregados pétreos, agua, emulsión asfáltica de rotura lenta, convencional o modificada con polímeros, llenante mineral y, eventualmente, aditivos para el control de rotura o para modificación de la reología.

400.9.15 Mezcla asfáltica

Material utilizado en la construcción de pavimentos, formado por una combinación de agregados pétreos y un producto asfáltico, de tal manera que las partículas queden cubiertas de manera homogénea por este. La mezcla se realiza de forma mecánica, bien sea en una planta fija o en una planta móvil.

400.9.16 Mezcla asfáltica abierta

Mezcla de agregados de gradación discontinua y un producto asfáltico modificado.

400.9.17 Mezcla asfáltica de alto módulo

Mezcla asfáltica de alta capacidad estructural y elevada resistencia a la deformación, que se prepara en caliente con un agregado de fuerte esqueleto mineral y un cemento asfáltico modificado de baja penetración.

400.9.18 Mezcla asfáltica de gradación discontinua

Mezcla asfáltica en la cual hay ausencia de partículas de agregado de determinados tamaños, especialmente de arena gruesa.

400.9.19 Mezcla asfáltica densa

Mezcla de agregados pétreos de gradación continua desde el tamaño máximo hasta el llenante mineral y un producto asfáltico, que se elabora, extiende y compacta en caliente o en frío, para formar una masa con bajo contenido de vacíos con aire, estable y uniforme.

400.9.20 Mezcla asfáltica en caliente

Mezcla de agregados pétreos y un cemento asfáltico, elaborada en caliente en planta, la cual debe ser colocada y compactada cuando aún conserve una temperatura elevada.

400.9.21 Mezcla asfáltica en frío

Mezcla de agregados pétreos y un asfalto líquido o emulsionado, elaborada en una planta fija o directamente en el sitio de la obra y colocada y compactada a temperatura ambiente o cerca de ella.

400.9.22 Parcheo

Reparación o intervención de un área localizada del pavimento que abarca solo las capas asfálticas.

400.9.23 Reciclado

Levantamiento de un pavimento, en espesor parcial o total, reduciendo los materiales recuperados a tamaños apropiados, reprocesándolos con nuevos materiales y colocando la mezcla resultante como capa de base o de rodadura en el mismo o en otro pavimento.

400.9.24 Reciclado en caliente

Proceso mediante el cual se combinan agregados pétreos de reciclaje, material bituminoso de adición y agregados pétreos de adición y, eventualmente un rejuvenecedor, en una planta de elaboración de mezclas asfálticas en caliente, a manera de obtener un producto de la calidad de un concreto asfáltico.

400.9.25 Reciclado *in situ*

Proceso mediante el cual se combinan agregados pétreos de reciclaje, agregados pétreos de adición, asfalto espumado, una emulsión asfáltica apropiada, eventuales agentes de reciclado, cemento Portland, cal u otro producto idóneo, con o sin el aporte de agregados nuevos.

400.9.26 Reciclado en planta

Técnica de reciclado que exige que los agregados pétreos de reciclaje sean transportados a una planta para su reprocesamiento y luego al sitio de puesta en obra, que puede ser o no el mismo de la extracción.

400.9.27 Riego de curado

Aplicación uniforme de un ligante bituminoso sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, con el fin de brindar impermeabilidad a toda su superficie y evitar la evaporación de agua necesaria para un correcto fraguado.

400.9.28 Riego de imprimación

Aplicación uniforme de una emulsión asfáltica o un asfalto líquido sobre una superficie granular terminada (no tratada), previo a la extensión de una capa asfáltica o un tratamiento bituminoso.

400.9.29 Riego de liga

Aplicación uniforme de una ligante asfáltico sobre losas de concreto o sobre una capa bituminosa, previamente a la extensión de otra capa bituminosa, que no sea un tratamiento superficial, un sello de arena-asfalto o una lechada asfáltica, con el fin de proporcionar una adecuada adherencia entre las capas involucradas.

400.9.30 Sello de arena-asfalto

Aplicación de un material bituminoso sobre la superficie de un pavimento existente, seguida por la extensión y compactación de una delgada capa de arena.

400.9.31 Tratamiento superficial

Corresponde a sucesivas aplicaciones de material bituminoso sobre una superficie preparada, seguido por la extensión y compactación de sendas capas de agregado pétreo.

400.9.32 Tiempo de rompimiento en emulsiones asfálticas

Tiempo requerido para que las partículas de agua se separen de la emulsión; generalmente se evidencia un cambio de coloración en el material (marrón a negro).

400.9.33 Tiempo de curado o rompimiento total en emulsiones asfálticas

Tiempo requerido para que el agua involucrada en el proceso de elaboración de la emulsión se evapore completamente.

Suministro de cemento asfáltico

Artículo 410 – 22

410.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de cemento asfáltico para la fabricación de mezclas asfálticas que se elaboren de conformidad con lo establecido en los artículos correspondientes de estas especificaciones.

410.2 Materiales

410.2.1 Definición

El cemento asfáltico o asfalto es un material con propiedades cementantes, de color marrón oscuro a negro, soluble en tricloroetileno, compuesto principalmente de hidrocarburos y producto de la eliminación de las fracciones más ligeras del petróleo crudo durante el proceso de refinación.

410.2.2 Designación y especificaciones

La designación del cemento asfáltico se hace por grados de penetración, en décimas de milímetro (0,1 mm). El material por suministrar debe ser de grado de penetración 40 — 50, 60 — 70 u 80 — 100, de acuerdo con las características de la mezcla y del proyecto, que cumpla los requisitos de calidad establecidos la Tabla 410 — 1.

En el caso de mezclas recicladas en caliente o en frío que requieran un cemento asfáltico de diferente penetración, su suministro se debe realizar conforme lo establezca la respectiva especificación particular.

Tabla 410 — 1. Especificaciones del cemento asfáltico

Característica	Norma de ensayo	Grado de penetración					
		40 – 50		60 – 70		80 – 100	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Asfalto original							
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	40	50	60	70	80	100
Punto de ablandamiento (°C)	INV E-712	52	58	48	54	45	52
Índice de penetración	INV E-724	- 1,2	+ 0,6	- 1,2	+ 0,6	- 1,2	+ 0,6
Viscosidad a 60 °C (Pa·s) (P)	INV E-716 o INV E-717	200 (2 000)	-	150 (1 500)	-	100 (1 000)	-
Viscosidad a 135 °C (Pa·s) (P)	o NTC 5117:2017	0,5 (5,0)	-	0,4 (4,0)	-	0,3 (3,0)	-

Característica	Norma de ensayo	Grado de penetración					
		40 – 50		60 – 70		80 – 100	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min) (cm)	INV E-702	80	-	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno (%)	INV E-713	99	-	99	-	99	-
Contenido de agua (%)	INV E-704	-	0,2	-	0,2	-	0,2
Contenido de parafinas (%)	INV E-718	-	3	-	3	-	3
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland (°C)	INV E-709	240	-	230	-	230	-
Del asfalto residual, luego de la prueba de acondicionamiento en película delgada rotatoria, según la norma de ensayo INV E-720							
Cambio de masa por calentamiento (%)	INV E-720	-	0,8	-	0,8	-	1,0
Penetración retenida a 25 °C, en porcentaje (%) de la penetración del asfalto original	INV E-706	55	-	50	-	46	-
Incremento en el punto de ablandamiento (°C)	INV E-712	-	8	-	9	-	9
Índice de envejecimiento: relación de viscosidades (60 °C) del asfalto residual y el asfalto original	INV E-716 o INV E-717 o NTC 5117:2017	-	4	-	4	-	4

Nota: se pueden utilizar cementos asfálticos puros diferentes a los citados en este numeral y en cuyo caso deben ser objeto de una especificación particular.

410.2.3 Especificaciones complementarias para el cemento asfáltico

Además de los ensayos básicos mencionados en el numeral anterior, el proveedor del asfalto debe entregar la clasificación del asfalto por el sistema PG (*Performance Grade*), según la norma AASHTO M 320, *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*, acompañada de los resultados de los ensayos respectivos que definen esta clasificación.

Los documentos del proyecto pueden establecer un requisito para la clasificación PG del asfalto. Si no lo establecen, la clasificación debe ser, como mínimo, PG 64 – 22

para los asfaltos de penetración 40 – 50 y 60 – 70, y PG 58 – 22 para el asfalto de penetración 80 – 100.

410.3 Equipo

En adición a las condiciones generales del numeral 400.3 del artículo 400, se debe tener en cuenta lo siguiente:

410.3.1 Vehículos de transporte

El transporte del cemento asfáltico desde la planta de producción se debe efectuar en caliente y a granel, en carrotaques con adecuados sistemas de calefacción y termómetros

ubicados en sitios visibles. Estos vehículos deben estar dotados, además, de los medios mecánicos que permitan el rápido trasvase de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, deben disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

410.3.2 Depósitos de almacenamiento

Los materiales asfálticos deben ser almacenados en tanques específicamente diseñados para ese propósito, con el fin de minimizar el posible endurecimiento durante el almacenamiento. Ciertos aspectos de diseño se deben considerar para reducir el riesgo de sobrecalentar el asfalto. Los tanques deben estar provistos de sensores de temperatura instalados cerca de los dispositivos de calentamiento y de preferencia removibles para facilitar la limpieza y el mantenimiento de rutina.

Los materiales asfálticos se deben almacenar en depósitos adecuadamente ubicados, con la capacidad suficiente para recibir cada entrega, que reúnan los requisitos necesarios para evitar la contaminación de los productos que contengan, que estén protegidos contra incendios, fugas y pérdida excesiva de volátiles, y que cuenten con los equipos adecuados para calentar el producto cuando se requiera, así como con los elementos necesarios para su carga, descarga y limpieza.

Antes de utilizar los depósitos, estos se deben limpiar cuidadosamente, para eliminar natas o residuos de otros productos, materiales extraños o materiales asfálticos de tipo diferente al que se va a almacenar. Esta operación se debe repetir cada vez que sea necesario, para evitar la contaminación del producto.

Todas las tuberías usadas para trasvasar el cemento asfáltico del carro tanque al tanque de almacenamiento y de este al equipo de empleo, deben estar dispuestas de manera que se puedan limpiar fácilmente después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

Cada depósito de almacenamiento se debe identificar en un lugar visible, su capacidad, el tipo de material asfáltico que contiene y, cuando se trate de muestras en recipientes, el origen del material y la fecha de producción. Así mismo, para cada depósito se debe llevar un registro en el que se indiquen las fechas y los volúmenes de los suministros recibidos, así como las salidas de material.

410.4 Ejecución de los trabajos

410.4.1 Recibo del producto

A la llegada del producto al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación del fabricante del cemento asfáltico, expedida para cada carro tanque o viaje que se reciba, con la siguiente información:

- Tipo de cemento asfáltico, de acuerdo con la denominación descrita en el numeral 410.2.2.
- Fechas de elaboración y despacho.
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 410 – 1.

La certificación del fabricante, entregada como respaldo, no evita la ejecución de ensayos de comprobación por parte del

interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega. De todas maneras, el interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de cemento asfáltico que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Con la frecuencia que el interventor considere pertinente, se deben comprobar los sistemas de transporte y trasvase, y las condiciones de almacenamiento, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material. El interventor puede ordenar la suspensión del uso del contenido del tanque o carrotanque, mientras se realizan las comprobaciones que estime convenientes sobre las características de calidad del cemento asfáltico.

410.4.2 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 y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

410.5 Condiciones para el recibo del producto

410.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el cumplimiento de la legislación vigente en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de transporte y almacenamiento del cemento asfáltico.

- Verificar que, durante el vaciado de los carrotanques, no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto, generar incendios o poner en riesgo la integridad de la flora, ni la seguridad de personas, bienes o animales.
- Cada vez que el interventor lo estime conveniente, se deben tomar muestras para los ensayos que indica la Tabla 410 — 1 y se deben realizar las respectivas pruebas. Las muestras se deben tomar de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-701.
- Verificar que no se produzca calentamiento excesivo del cemento asfáltico, antes de su mezcla con los agregados pétreos, que induzca la oxidación prematura del producto e impida que se ajuste a las exigencias del ítem en ejecución.

410.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Se deben adelantar las siguientes actividades:

- De cada carrotanque o viaje con asfalto que llegue a la planta se deben tomar dos (2) muestras, cada una con al menos un kilogramo (1 kg) (norma INV E-701), en el momento del trasvase del material desde el vehículo de carga al tanque de almacenamiento. Sobre una de las muestras se deben realizar los ensayos de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad, y sobre la otra, en el caso de ser necesarios, los ensayos de contraste. Si los resultados de las pruebas de contraste no son satisfactorios, se debe rechazar el producto y las partidas de trabajo que eventualmente se hubiesen fabricado con este. Los laboratorios en donde se realicen los ensayos

necesarios para el control de calidad, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados contengan la aprobación y autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.
- Las muestras para contraste se deben guardar en recipientes metálicos cerrados con tapa a temperaturas entre menos doce grados Celsius (- 12 °C) y menos dieciocho grados Celsius (- 18 °C) para mantener su consistencia en estado sólido, y disminuir el deterioro de sus propiedades por

efecto del tiempo de almacenamiento y de exposición al ambiente, durante el tiempo que se requiera, hasta la realización de los ensayos de contraste en laboratorio.

- El interventor debe exigir la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en la Tabla 410 — 1 con una frecuencia recomendada, de una (1) vez cada mes y como mínimo tres (3) veces durante la ejecución de la obra. Para proyectos con duración inferior a un (1) mes, basta con la realización de una (1) sola comprobación. En el desarrollo de estas actividades no se admite tolerancia alguna en relación con los límites que se establecen en la Tabla 410 — 1 o en la especificación particular del proyecto, por tanto, su incumplimiento causa el rechazo del producto.
- El proveedor del asfalto debe entregar la clasificación por el sistema PG (*Performance Grade*), acompañada de los resultados de los ensayos que la definen, con antigüedad no mayor de un (1) mes, según lo establecido en el numeral 410.2.3. No se acepta el empleo de suministros de cemento asfáltico que no estén respaldados por la certificación del fabricante.
- Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de cemento asfáltico incorporado en las mezclas de acuerdo con los documentos del proyecto o aquellos que el interventor haya aprobado.

El interventor puede verificar en cualquier momento el cumplimiento del cemento asfáltico suministrado, en cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta especificación, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

410.6 Medida

Para pago, el cemento asfáltico se debe medir en aquellas unidades de obra en que el artículo correspondiente a la unidad de la que forme parte indique que su suministro se debe pagar por separado. En este caso, la unidad de medida del cemento asfáltico debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, que se haya incorporado en la mezcla asfáltica debidamente aprobada por el interventor.

Para determinar la cantidad de cemento asfáltico por pagar, se debe calcular la masa de la mezcla aprobada en su posición final, mediante el producto del volumen aprobado por su densidad media en obra en cada lote, y aplicando a este valor el porcentaje de asfalto promedio correspondiente, que resulte de los ensayos de extracción (norma INV E-732) realizados sobre muestras representativas del volumen de mezcla aprobada.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

En el caso de mezclas recicladas, se debe descontar la masa del asfalto incluido dentro del material que se está reciclando.

410.7 Forma de pago

En aquellas unidades de obra en que el artículo indique que el suministro de cemento asfáltico se debe pagar por separado, el pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por el cemento asfáltico efectivamente incorporado en la mezcla asfáltica, en su posición final y aprobada por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos de suministro del asfalto en obra, manejo, almacenamiento, calentamiento y transportes entre la planta de producción del asfalto y el sitio de colocación final. Además, debe incluir los costos por concepto de desperdicios, de administración e imprevistos y la utilidad del constructor, y en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

410.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
410.1	Cemento asfáltico de penetración 40 – 50	Kilogramo (kg)
410.2	Cemento asfáltico de penetración 60 – 70	Kilogramo (kg)
410.3	Cemento asfáltico de penetración 80 – 100	Kilogramo (kg)

Suministro de emulsión asfáltica catiónica

Artículo 411 – 22

411.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de una emulsión asfáltica catiónica, del tipo y las características de rotura apropiados, en el sitio de colocación de mezclas en frío, densas o abiertas, recicladas o estabilizadas, así como en el sitio de ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación.

411.2 Materiales

411.2.1 Definición

Se definen como emulsiones asfálticas catiónicas a las dispersiones de pequeñas partículas de un cemento asfáltico en una solución de agua y un agente emulsificante de carácter catiónico, lo que determina la denominación de la emulsión; deben presentar un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento asfáltico en la fase acuosa.

411.2.2 Designación

Para efectos de la aplicación de este artículo, la denominación del tipo de emulsión asfáltica se compone de un código alfanumérico, formado en su orden por la polaridad dada por el tipo de emulgente, el tipo de rompimiento, un guion, el porcentaje de asfalto residual, y

el tipo de estabilidad en caso necesario, del siguiente modo: C, para la polaridad catiónica; RR, RM o RL, para la rotura según sea rápida, media o lenta; guión; 40, 57, 60 o 65, de acuerdo con el porcentaje de asfalto que contenga la emulsión; y, con *h* para una de las emulsiones de rotura lenta, cuando corresponda al caso de alta estabilidad.

En las emulsiones CRR-60, CRR-65 y CRL-57 (Tabla 411 – 1), y de acuerdo con el clima de la región, el cemento asfáltico base para elaborar la emulsión, se establece con asfalto residual duro (ARD) para las zonas climáticas, templadas y cálidas (temperatura media ≥ 15 °C), y asfalto residual blando (ARB) para las zonas con clima frío (temperatura media < 15 °C).

Las emulsiones asfálticas deben cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la Tabla 411 – 1.

En el caso de mezclas recicladas en frío que requieran una emulsión asfáltica de diferentes características, su suministro se debe realizar conforme lo establezca la respectiva especificación particular.

411.3 Equipo

411.3.1 Vehículos de transporte

El transporte de la emulsión asfáltica desde la planta de fabricación hasta el sitio de

colocación, se debe realizar a granel, en carrotaques que no requieran aislamientos térmicos ni calefacción. Deben estar dotados de los medios mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, debe disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

411.3.2 Depósitos de almacenamiento

El almacenamiento que requiera la emulsión asfáltica antes de su uso, se debe realizar en tanques cilíndricos verticales, con tuberías de fondo para carga y descarga, las cuales se deben encontrar en posiciones diametralmente opuestas. Los tanques deben tener bocas de ventilación, para evitar que trabajen a presión, y deben contar con los aparatos de medida y de seguridad necesarios ubicados en puntos de fácil acceso, para garantizar su correcto funcionamiento. Así mismo, deben disponer de una válvula adecuada para la toma de las muestras. Deben, además, estar provistos de elementos que permitan la recirculación de la emulsión, cuando se almacene por tiempo prolongado.

Antes de utilizar los depósitos, estos deben ser limpiados cuidadosamente, para eliminar natas o residuos de otros productos, materiales extraños o emulsiones de tipo diferente al que se va a almacenar. Esta operación se debe repetir cada vez que sea necesario, para evitar la contaminación del producto.

Cada depósito de almacenamiento se debe identificar, en un lugar visible, donde se indique su capacidad, el tipo de emulsión asfáltica que contiene y, cuando se trate de recipientes, el origen del material y la fecha de producción. Así mismo, para cada depósito se debe llevar un registro en el que se indiquen las fechas y los volúmenes de los suministros recibidos y de las salidas de material.

Cuando los tanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, los carrotaques empleados para el transporte de la emulsión asfáltica deben estar dotados de medios neumáticos o mecánicos apropiados para el trasvase rápido de su contenido a los tanques. Cuando se empleen bombas de trasvase, se deben preferir las de tipo rotativo a las centrífugas. El trasvase desde el carrotaque al tanque de almacenamiento siempre se debe realizar por tubería directa.

Tabla 411 — 1. Especificaciones de emulsiones asfálticas catiónicas

Ensayos sobre la emulsión	Norma de ensayo	Tipo de rotura (Nota)											
		Rápida				Media				Lenta			
		CRR-60		CRR-65		CRM-65		CRL-40		CRL-57		CRL-57h	
Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
Destilación: - Contenido de asfalto residual (%) - Contenido de aceite (%)	INV E-762	60	-	65	-	65	-	40	-	57	-	57	-
		-	3	-	3	-	12	10	20	-	-	-	-
Contenido de agua (%)	INV E-761	-	40	-	35	-	35	-	50	-	43	-	43
Viscosidad: - Saybolt-Furol a 25 °C (s) - Saybolt-Furol a 50 °C (s)	INV E-763	20	100	-	-	-	-	-	50	450	-	20	200
		-	-	100	400	-	-	-	-	-	-	-	-
Estabilidad durante el almacenamiento: - Sedimentación a 24 h (%) - Sedimentación a los 5 días (%)	INV E-764	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	1
		-	5	-	5	-	-	-	-	5	-	-	5
Tamizado	INV E-765	-	0,1	-	0,1	-	-	-	-	0,1	-	-	0,1
Retenido tamiz de 0,850 mm (nro. 20) (%)	INV E-766	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Demulsibilidad (%)	INV E-770	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0
Rotura en ensayo de mezcla con cemento (%)	INV E-767	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
Carga eléctrica de la partícula	INV E-768	-	5	-	5	-	-	-	5	5	-	5	-
pH	UNE-EN 13075-1	-	5	-	5	-	-	-	-	-	-	-	5
Índice de rotura		Reportar											

Ensayos sobre la emulsión	Norma de ensayo	Tipo de rotura (Nota)											
		Rápida				Media				Lenta			
		CRR-60		CRR-65		CRM-65		CRL-40		CRL-57		CRL-57h	
Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		
Cubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento: - Con agregado seco - Con agregado seco y acción del flujo de agua - Con agregado húmedo - Con agregado húmedo y acción del flujo de agua	INV E-769	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	Buena	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	Satisfactoria	-	-	-	-	-	-	
		-	-	-	-	Satisfactoria	-	-	-	-	-	-	
Ensayos sobre el residuo de destilación													
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm) - Asfalto residual duro (ARD) - Asfalto residual blando (ARB)	INV E-706	-	-	-	-	100	250	200	300	-	-	60	100
		60	100	60	100	-	-	-	-	60	100	-	-
		100	250	100	250	-	-	-	-	100	250	-	-
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min) (cm)	INV E-702	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno (%)	INV E-713	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-

Nota: el tipo de rotura se establece de acuerdo con lo indicado en las normas de ensayo ASTM D244 e INV E-767.

Todas las tuberías usadas para el trasvase de la emulsión asfáltica, del carrotanque al tanque de almacenamiento y de este al equipo de empleo, deben estar dispuestas de manera que se puedan limpiar fácilmente después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

411.4 Ejecución de los trabajos

411.4.1 Recibo del producto

A la llegada del producto al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor, una certificación del fabricante de la emulsión expedida para cada carrotanque o viaje que se reciba, con la siguiente información:

- Tipo de emulsión asfáltica y velocidad de rotura.
- Fechas de elaboración y despacho.
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 411 – 1 o lo que indique la respectiva especificación particular, en los casos en que se autorice el empleo de una emulsión asfáltica de características diferentes.

La certificación no evita la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega. De todas maneras, el interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Con la frecuencia que el interventor considere pertinente, se deben comprobar los sistemas de transporte, trasvase y las condiciones de

almacenamiento, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material. El interventor puede ordenar la suspensión del uso del contenido del tanque o carrotanque, mientras se realizan las comprobaciones que estime convenientes de las características de calidad de la emulsión asfáltica.

El empleo de la emulsión asfáltica en la elaboración de riegos, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas y estabilizaciones, se debe hacer conforme se establece en la especificación correspondiente a la partida de trabajo de la cual forma parte.

411.4.2 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, y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

411.5 Condiciones para el recibo del producto

411.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que, en las operaciones de suministro de la emulsión asfáltica, el constructor cumpla la legislación vigente en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de transporte y de almacenamiento de la emulsión asfáltica.

- Verificar que, durante el vaciado de los carrotanques, no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto, generar incendios o poner en riesgo la integridad de la flora y la seguridad de personas, bienes o animales.
- Tomar muestras para los ensayos que indica la Tabla 411 – 1 y efectuar las respectivas pruebas, cada vez que el interventor lo estime conveniente. Las muestras se deben tomar de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-701.

411.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Al respecto, se deben adelantar las siguientes verificaciones:

- De cada carrotanque con emulsión asfáltica que llegue a la planta se deben tomar dos (2) muestras, de al menos, dos kilogramos (2 kg) (norma INV E-701), en el momento del trasvase del material del carrotanque al tanque de almacenamiento. Sobre una de estas muestras se deben realizar los ensayos de contenido de agua y de penetración del residuo, y la otra, se debe utilizar para los ensayos de contraste, en caso de ser necesario. Los laboratorios en donde se realicen los ensayos de contraste, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados contengan la aprobación y autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe

contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.
- El interventor debe exigir al constructor la realización de los ensayos necesarios para comprobar las características especificadas en la Tabla 411 – 1, con una frecuencia recomendada, de una (1) vez cada mes y como mínimo de tres (3) veces durante la ejecución de la obra. Para proyectos con duración inferior a un (1) mes, basta con la realización de una (1) sola comprobación.
- Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de emulsión asfáltica incorporada en riegos, tratamientos superficiales, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, mezclas, reciclados y estabilizaciones.

En desarrollo de las dos primeras actividades, no se debe admitir ninguna tolerancia en relación con los límites que se establecen en la

Tabla 411 — 1 o en la especificación particular del proyecto, y en cuanto a la tercera, se debe aplicar lo que recomiende la especificación correspondiente a la partida de trabajo que se esté controlando.

Si la emulsión asfáltica se almacena durante un plazo superior a quince días (15 d) antes de su empleo, se deben realizar, como mínimo, sobre dos (2) muestras, una tomada en la parte superior y otra de la inferior del tanque de almacenamiento, el ensayo de tamizado, según la norma INV E-765 y el ensayo de contenido de ligante, de acuerdo con la norma INV E-762. Si no se cumple con lo establecido para estas características, se debe proceder a su homogeneización y la realización de nuevos ensayos, o a su retirada. Este plazo de quince días (15 d), se debe reducir a cinco días (5 d) para el caso de emulsiones de rotura lenta.

411.6 Medida

La unidad de medida de la emulsión asfáltica debe ser el litro (L), aproximado al litro entero, de emulsión incorporada en las mezclas y estabilizaciones aprobadas por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida para cada uno de los ítems, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

Dado que al aplicar la emulsión en obra se pierde el agua que contiene, la determinación de la cantidad de emulsión realmente utilizada, se cuantifica a partir de la masa de la mezcla o estabilización aceptada en su posición final, la cual se obtiene multiplicando el volumen aprobado por la densidad media obtenida en obra en cada lote. A la masa así determinada,

se le aplica el porcentaje promedio de asfalto, que resulte de los ensayos de extracción realizados sobre muestras representativas de la mezcla aceptada.

En el caso de mezclas recicladas, se debe descontar la masa del asfalto ya incluido dentro del material que se está reciclando. Como este valor corresponde únicamente a asfalto residual, su conversión a emulsión asfáltica se debe realizar de acuerdo con la concentración de esta. Por último, la conversión de masa de emulsión a volumen se debe realizar considerando la densidad de un kilogramo por litro (1 kg/L). Para efectos de pago, se debe considerar siempre una emulsión asfáltica con una concentración de sesenta por ciento (60 %); por lo tanto, si la emulsión suministrada y utilizada tiene una concentración diferente, se debe hacer la conversión correspondiente mediante la expresión:

$$\left(\text{Volumen para pago} \right) = \left(\text{Volumen aplicado} \right) * \frac{C}{60 \%} \quad [411.1]$$

Donde:

C, concentración de la emulsión empleada, en porcentaje.

Para efectos de pago separado, en riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales simples y dobles, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación, no debe haber medida de la emulsión asfáltica utilizada.

411.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por la emulsión asfáltica efectivamente

incorporada en las mezclas o estabilizaciones en su posición final, aprobadas por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de suministro de la emulsión en obra, manejo, almacenamiento y transportes entre la planta de fabricación de la emulsión y el sitio de colocación final. Además, debe incluir los costos por concepto de desperdicios, de administración e imprevistos y la utilidad del constructor, y en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

No debe haber ningún pago separado por concepto de la emulsión asfáltica, cuando sea incorporada en riegos de imprimación (artículo 420), riegos de liga (artículo 421), tratamientos superficiales (artículo 430), sellos de arena-asfalto (artículo 432), lechadas asfálticas (artículo 433), mezclas asfálticas en frío (densas o abiertas) (artículo 440), reciclado de pavimentos asfálticos *in situ* empleando ligantes bituminosos (artículo 461) e instalación de

geotextiles y geomallas para repavimentación (artículo 464).

Tampoco debe haber pago separado por concepto de la emulsión asfáltica incorporada en riegos de curado, a los cuales hace referencia el artículo 422. Todos los costos relacionados con su suministro y correcta aplicación se deben incluir en el precio unitario de la capa sobre la cual haya sido aplicada.

411.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
411.1	Emulsión asfáltica de rotura media CRM-65	Litro (L)
411.2	Emulsión asfáltica de rotura lenta CRL-40	Litro (L)
411.3	Emulsión asfáltica de rotura lenta CRL-57	Litro (L)
411.4	Emulsión asfáltica de rotura lenta CRL-57h	Litro (L)
411.5	Emulsión asfáltica de rotura rápida CRR-60	Litro (L)
411.6	Emulsión asfáltica de rotura rápida CRR-65	Litro (L)

Suministro de aditivo mejorador de adherencia

Artículo 412 – 22

412.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de un aditivo mejorador de adherencia para la fabricación de tratamientos y mezclas asfálticas, que se elaboren de conformidad con lo establecido en los artículos correspondientes de estas especificaciones.

412.2 Materiales

La adherencia entre los productos bituminosos y los agregados pétreos se puede mejorar mediante el empleo de:

- Cal tipo I (AASHTO M 303-89 [2019]).
- Compuestos del tipo amina, organosilanos y ésteres de fosfato.
- Cenizas (AASHTO M 295-19).
- Otros productos de calidad certificada.

El mejorador de adherencia seleccionado previamente en los documentos del proyecto o aprobado por el interventor, debe garantizar el grado de afinidad requerido entre el par asfalto-agregado, según el tipo de mezcla

asfáltica a utilizar. En el caso de mejoradores de adherencia líquidos, deben ser homogéneos y no presentar separación de fases.

Los aditivos mejoradores de adherencia entre el par, cemento asfáltico-agregado pétreo, se deben usar cuando en el ensayo de adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos, norma INV E-774, señale un resultado inferior a seis (6) para el desprendimiento total de acuerdo con el Índice de adhesividad Riedel-Weber.

La efectividad, la compatibilidad y el alto rendimiento del aditivo entre el par cemento asfáltico-agregado, en cada uno de los diseños de mezcla, se establece según el ensayo de evaluación de la susceptibilidad al agua de las mezclas de concreto asfáltico utilizando la prueba de tracción indirecta, norma INV E-725; la resistencia retenida y obtenida a partir de esta prueba debe ser como mínimo del ochenta por ciento (80 %).

En caso de que el producto utilizado sea cal, debe cumplir los requisitos indicados en la Tabla 412 — 1.

Tabla 412 — 1. Especificaciones para la cal

Requisito	Norma de ensayo	Masa (%)
Cal activa [% Ca (OH) ₂ + % CaO], mínimo (% en masa)	ASTM C25/NTC 5059	83
Óxido de calcio (cal deshidrata), máximo (% en masa de CaO)		7
Contenido de agua, máximo (% en masa de H ₂ O)		3

El producto para utilizarse como mejorador de adherencia entre el par, cemento asfáltico-agregado, debe estar debidamente justificado mediante ensayos de laboratorio, y respaldado por los certificados de calidad, la ficha técnica del fabricante, la hoja de seguridad (según la NTC 4435 u otra que la sustituya), las condiciones de almacenamiento, la dosificación, la forma de uso, y las fechas de la elaboración y del vencimiento.

412.3 Equipo

En adición a lo que resulte pertinente del numeral 400.3 del artículo 400, aplica lo siguiente:

412.3.1 Empaque

Para su traslado al sitio de las obras, el aditivo se puede empaquetar en bolsas, canecas o a granel. Las bolsas solo se pueden emplear cuando el aditivo sea sólido.

412.3.2 Vehículos de transporte

Si el suministro se hace en bolsas o canecas, el transporte se puede efectuar en cualquier camión convencional. El vehículo debe disponer de lonas o cobertores adecuados, debidamente asegurados a su carrocería, que protejan al aditivo durante su transporte.

Si el suministro se realiza a granel, se deben emplear camiones cisterna dotados de dispositivos mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento.

412.3.3 Depósitos de almacenamiento

El depósito de los aditivos suministrados en bolsas o canecas debe ser ventilado y

cubierto, y disponer de los elementos que aseguren la protección del producto contra los agentes atmosféricos, particularmente la humedad proveniente tanto del suelo como de las paredes del almacén.

Los silos de almacenamiento de aditivos suministrados a granel deben estar completamente aislados contra la humedad y deben disponer de sistemas apropiados para su rápido llenado y vaciado.

412.4 Ejecución de los trabajos

412.4.1 Aspectos generales

La incorporación del aditivo mejorador de adherencia en los tratamientos y las mezclas, se debe hacer en la proporción definida en el diseño de estos, siguiendo el procedimiento establecido en la ficha técnica suministrada por el fabricante.

412.4.2 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 y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

412.5 Condiciones para el recibo del producto

412.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que en las operaciones de suministro del aditivo mejorador de adherencia, el constructor cumpla la legislación vigente

en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.

- Llevar un registro detallado del período de almacenamiento de cada lote de aditivo, impidiendo el empleo de cualquier aditivo con posterioridad a su fecha de vencimiento.
- Verificar que durante el manejo del aditivo no se efectúen operaciones que puedan afectar su calidad.
- Comprobar la correcta incorporación del aditivo en el tratamiento o la mezcla.
- Cada vez que el interventor lo estime conveniente, se deben tomar muestras del producto para la ejecución eventual de pruebas de control, las cuales se deben realizar de acuerdo con los procedimientos previstos por el fabricante.

412.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Se debe comprobar que, con la cantidad de aditivo efectivamente incorporada en el tratamiento o la mezcla, se satisfacen los

requisitos de adhesividad exigidos en los artículos correspondientes; no se admite ninguna tolerancia en relación con la cantidad de aditivo por incorporar.

412.6 Medida

No debe haber lugar a medida, para efectos de pago separado, del aditivo mejorador de adherencia que se deba incorporar en los tratamientos o las mezclas que lo requieran, para garantizar el cumplimiento de las exigencias de adhesividad de la respectiva especificación.

412.7 Forma de pago

No debe haber pago separado por el aditivo mejorador de adherencia. Por lo tanto, todos los costos de suministro, patente, manejo, almacenamiento, desperdicios, cargues, transportes, descargues, incorporación y cualquier otro costo requerido para la correcta ejecución de los trabajos, se deben incluir dentro del precio unitario del tratamiento o mezcla respectivo.

Suministro de cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado

Artículo 413 – 22

413.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado (GCR) en el sitio de producción de las mezclas asfálticas que se elaboren con dicho producto, de conformidad con lo establecido en los artículos correspondientes de estas especificaciones. El grano de caucho debe mezclarse e interactuar suficientemente con el asfalto caliente para que genere la expansión de las partículas de caucho antes de su uso.

El cemento asfáltico modificado con GCR se debe usar únicamente en aquellas mezclas asfálticas en las cuales los documentos del proyecto especifiquen su uso.

413.2 Materiales

413.2.1 Cemento asfáltico

Debe cumplir las características establecidas en el artículo 410, Suministro de cemento asfáltico. El tipo de asfalto por emplear se debe indicar en los documentos del proyecto y debe permitir la obtención de las propiedades de cemento asfáltico modificado con GCR que se indican en la Tabla 413 – 3.

413.2.2 Grano de caucho reciclado (GCR)

El GCR debe presentar las características que se mencionan en la Tabla 413 – 1.

Tabla 413 – 1. Características del GCR

Característica	Norma de ensayo	Requisito
Humedad (Nota 1), respecto la masa total, máximo (%)	ASTM D1864/D1864M	0,75
Gravedad específica	ASTM D1817	1,15 ± 0,05
Contenido de metales no ferrosos	-	Sin presencia visible
Contenido de fibra en masa, máximo (%): - Para mezclas en caliente (%) - Para riegos (%)	ASTM 5603	0,5 0,1
Contenido de polvo mineral (como talco [Nota 2]), máximo (%)	-	4,0
Contenido total de otros elementos extraños (arena, vidrio, madera, etc.), en masa, máximo (%)	-	0,25

Nota 1: el GCR debe fluir libremente.

Nota 2: se usa frecuentemente para que los granos no se peguen.

La granulometría del GCR se debe acomodar a alguna de las gradaciones presentadas en la Tabla 413 – 2. La gradación que sea

empleada debe estar definida en los documentos del proyecto.

Tabla 413 – 2. Distribución de tamaños del GCR

Tamiz		Granulometrías				
Abertura (mm)	Designación	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E
		Pasa tamiz (%)				
2,380	Nro. 8	-	-	-	100	-
2,000	Nro. 10	100	-	-	95 — 100	100
1,180	Nro. 16	75 — 100	-	-	0 — 10	65 — 100
0,850	Nro. 20	59 — 90	100	-	-	-
0,600	Nro. 30	25 — 60	75 — 100	100	-	20 — 100
0,425	Nro. 40	10 — 40	55 — 90	80 — 90	-	-
0,300	Nro. 50	0 — 20	25 — 60	60 — 100	-	0 — 45
0,150	Nro. 100	0 — 10	0 — 30	4 — 70	-	-
0,075	Nro. 200	0 — 5	0 — 10	0 — 20	-	0 — 5
Contenido mínimo de GCR en el asfalto, en masa (%)		17	15	12	15	

Nota 1: las granulometrías D y E pueden ser utilizadas siempre y cuando la mezcla asfalto-caucho cumpla con lo especificado en la Tabla 413-3.

413.2.3 Cemento asfáltico modificado con GCR

El cemento asfáltico modificado con GCR es un ligante hidrocarbonado resultante de la mezcla de cemento asfáltico, GCR y eventualmente, otros aditivos que se requieran para su uso en trabajos de pavimentación.

Los asfaltos modificados con GCR, tipo I, incluyen típicamente un asfalto base más

duro y son recomendados generalmente para uso en climas cálidos; los ligantes tipo II comúnmente, incluyen asfaltos un poco más blandos y son recomendados generalmente para uso en climas moderados o templados; los ligantes tipo III, incluyen típicamente asfaltos muy blandos, con empleo de aditivos para ablandamiento para alcanzar las propiedades físicas estipuladas, y son recomendados generalmente para uso en climas fríos (Tabla 413 – 3).

Tabla 413 – 3. Especificaciones para el cemento asfáltico modificado con GCR

Características	Norma de ensayo	Asfalto - caucho			
		Tipo I	Tipo II	Tipo III	
Asfalto Base Original					
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	Reportar los resultados de estas propiedades del asfalto base conforme al artículo 410			
Punto de ablandamiento (°C)	INV E-712				
Índice de penetración	INV E-724				
Viscosidad a 60 °C (Pa·s)	INV E-716 o INV E-717 o NTC 5117:2017				
Viscosidad a 135 °C (Pa·s)					
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min) (cm)	INV E-702				
Solubilidad en tricloroetileno (%)	INV E-713				
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland (°C)	INV E-709				
Asfalto - Caucho fresco					
Penetración a 25 °C (100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	Mín. Máx.	25 75	25 75	50 100
Penetración a 4 °C (200 g, 60 s) (0,1 mm)	INV E-706	Mín.	10	15	25
Punto de ablandamiento (°C)	INV E-712	Mín.	57	54	52
Viscosidad aparente a 135 °C (Pa·s)	ASTM D7741/D7741M	-	Reportar		
Viscosidad aparente a 175 °C (Pa·s)		Mín. Máx.	1,5 5,0	1,5 5,0	1,5 5,0
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland (°C)	INV E-709	Mín.	230	230	230
Estabilidad al almacenamiento: cambio en el punto de ablandamiento (°C)	INV E-726	-	Reportar		
Incremento en el punto de ablandamiento respecto al asfalto original (°C)	INV E-712	-	Reportar		
Recuperación elástica por torsión a 25 °C (%)	INV E-727	-	Reportar		
Resiliencia a 25 °C (%)	ASTM D5329	Mín.	25	20	10
Asfalto-caucho residual luego del acondicionamiento en película delgada conforme a la norma INV E-721 o ASTM D1754 (3,2 mm, 50 g, 163 °C) (Nota):					
Cambio de masa por calentamiento a 163 °C (%)	INV E-721	-	Reportar		
Penetración a 4 °C (200 g, 60 s) (0,1 mm)	INV E-706	-	Reportar		
Penetración retenida a 4 °C: porcentaje (%) de la penetración original	INV E-706	Mín.	75	75	75
Incremento en el punto de ablandamiento (°C)	INV E-712	-	Reportar		
Índice de envejecimiento: relación entre viscosidades a 135 °C, de los asfaltos residual y original	NTC 5117:2017 o ASTM D7741/D7741M	-	Reportar		

Nota: el método RTFO (norma INV E-720) puede ser empleado para obtener el asfalto-caucho residual para reemplazar al método TFOT (norma INV E-721), sin embargo, se mantiene el método TFOT como referencia para cuando se requiera dirimir los conflictos.

413.2.4 Especificaciones complementarias para el cemento asfáltico modificado con GCR

Además de los ensayos básicos mencionados en la Tabla 413 — 3, el proveedor del cemento asfáltico modificado con GCR debe entregar la clasificación de este ligante y la del asfalto original, por el sistema PG (*Performance Grade*), según la norma AASHTO M 320, *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*, acompañada de los resultados de los ensayos respectivos que definen esta clasificación.

Los documentos del proyecto pueden establecer un requisito para la clasificación PG del asfalto modificado con GCR. Si no lo establecen, para el asfalto original la clasificación debe ser, como mínimo, PG 64 — 22 para los asfaltos de penetración 60 — 70, y PG 58 — 22 para el asfalto de penetración 80 — 100; para el asfalto modificado con GCR, el rango de temperaturas de la clasificación PG (máxima menos mínima) del asfalto modificado debe mostrar un incremento mínimo de seis grados Celsius (6 °C) con respecto al mismo rango en el asfalto original.

413.3 Equipo

El cemento asfáltico modificado con GCR se debe fabricar en equipos especializados que garanticen la calidad de la mezcla. El constructor debe entregar al interventor la certificación del fabricante sobre la idoneidad del equipo, así como los certificados recientes de la calibración de todos sus dispositivos de medida.

413.4 Ejecución de los trabajos

413.4.1 Diseño del cemento asfáltico modificado con GCR

El constructor debe presentar para aprobación y con suficiente anticipación al inicio de los trabajos, el diseño del cemento asfáltico modificado con GCR. En general, se requiere que el contenido de caucho respecto a la masa total del asfalto modificado con GCR, cumpla con los valores mínimos indicados en la Tabla 413 — 2, para obtener unas propiedades aceptables de la mezcla asfalto-caucho.

El ligante modificado debe cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 413 — 3, para el tipo de asfalto modificado con GCR que se especifique en los documentos del proyecto. El proceso de escogencia del tipo de asfalto debe tener en cuenta las condiciones climáticas del proyecto de la obra vial correspondiente.

413.4.2 Fabricación del cemento asfáltico modificado con GCR

Durante la producción a escala industrial del cemento asfáltico modificado con GCR, el constructor debe combinar los materiales de acuerdo con el diseño del ligante aprobado por el interventor.

413.4.2.1 Mezclado del cemento asfáltico modificado con GCR

El caucho se debe mezclar e integrar al cemento asfáltico base, con tiempos de reacción y temperaturas de mezclado moderadas, para evitar en el asfalto modificado la generación de altos niveles de envejecimiento a corto

plazo. El fabricante del asfalto modificado con GCR puede proponer el uso de un protocolo que garantice la interacción física del asfalto con los componentes de GCR, para producir una mezcla homogénea y estable. Al momento de añadir el grano de caucho, la temperatura del asfalto base debe encontrarse entre ciento ochenta grados Celsius (180 °C) y doscientos grados Celsius (200 °C), para compensar la reducción de temperatura que ocurre por la adición del GCR. No se deben permitir aglomeraciones de partículas de caucho de tamaño mayor de cinco centímetros (5 cm) dentro de la cámara de mezclado.

Las cantidades de asfalto y caucho deben ser dosificadas de manera precisa, de acuerdo con el diseño del ligante. El constructor debe documentar el proceso de fabricación, incluyendo los resultados de la verificación de la uniformidad de la mezcla.

El constructor debe demostrar que los granos de caucho han sido adecuadamente mezclados de tal manera que se encuentren empapados de asfalto. Son manifestaciones de un mezclado insuficiente la presencia de granos de caucho flotando en la superficie o aglomeraciones de partículas de caucho en la mezcla.

La temperatura del cemento asfáltico modificado con GCR inmediatamente después de su elaboración se debe encontrar entre ciento sesenta grados Celsius (160 °C) y ciento noventa grados Celsius (190 °C). Además, se debe mantener esta temperatura por una hora (1 h) antes de su uso.

413.4.2.2 Manejo del cemento asfáltico modificado con GCR

Después de su elaboración, el cemento asfáltico modificado con GCR se debe agitar entre los períodos de uso, para prevenir el asentamiento de las partículas de caucho. Durante la producción de la mezcla asfáltica, la temperatura del cemento asfáltico modificado se debe mantener entre ciento sesenta grados Celsius (160 °C) y ciento noventa grados Celsius (190 °C). Sin embargo, en ningún caso se debe mantener esta temperatura por un período superior a diez horas (10 h).

Si el cemento asfáltico modificado con GCR no se usa dentro de las diez horas (10 h) siguientes a su fabricación, se debe permitir que se enfríe gradualmente. Antes de su uso, se debe calentar de nuevo a una temperatura entre ciento sesenta grados Celsius (160 °C) y ciento noventa grados Celsius (190 °C); este proceso de enfriamiento y recalentamiento no se permite más de una vez. Adicionalmente, este cemento asfáltico modificado no se puede mantener a temperaturas superiores a ciento veinte grados Celsius (120 °C) por más de cuatro días (4 d).

413.4.2.3 Control del cemento asfáltico modificado con GCR antes de su aplicación

Antes de aplicar el cemento asfáltico modificado con GCR, se debe verificar su viscosidad por medio del viscosímetro rotacional, la cual debe estar dentro de los límites fijados en la Tabla 413 – 3.

413.4.2.4 Recibo del producto

A la llegada del producto al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación del fabricante del cemento asfáltico modificado con GCR, expedida para cada carrotanque o viaje que se reciba, con la siguiente información:

- Tipo de cemento asfáltico.
- Temperatura del cemento asfáltico antes de la adición del grano de caucho.
- Tipo y fuente del grano de caucho.
- Granulometría del grano de caucho.
- Dosificación del grano de caucho.
- Tiempos y fechas en que se añade el grano de caucho y resultados de las pruebas de viscosidad.
- Registro continuo de temperaturas, con fechas y horas, desde el momento en que se calentó el asfalto para la adición del grano de caucho hasta que el lote fue utilizado completamente en la mezcla asfáltica colocada. Se deben registrar datos de tiempos cada vez que la temperatura de este ligante cambia en más de diez grados Celsius (10 °C).
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 413 — 3.
- El interventor debe definir los lotes de características homogéneas, de los que se debe tomar muestras representativas, las cuales deben satisfacer las condiciones establecidas en este artículo.

El empleo del cemento asfáltico modificado con GCR en la elaboración de mezclas asfálticas se debe hacer conforme lo establece el

artículo correspondiente a la partida de trabajo de la cual forma parte.

413.4.2.5 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 y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

413.5 Condiciones para el recibo del producto

413.5.1 Controles generales

Además de los controles del numeral 410.5.1 del artículo 410, se deben adelantar los siguientes:

- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de fabricación del cemento asfáltico modificado.
- Cada vez que el interventor lo estime conveniente, se deben tomar muestras para los ensayos que indica la Tabla 413 — 3 y se deben efectuar las respectivas pruebas.
- Verificar que el producto se maneja siguiendo las indicaciones sobre temperaturas establecidas en este artículo.

413.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Al respecto, se deben adelantar las siguientes actividades:

- De cada carrotanque o viaje con asfalto modificado con GCR que llegue a la planta, se deben tomar dos (2) muestras, cada una con al menos un kilogramo (1 kg) (norma

INV E-701), en el momento del trasvase del material desde el vehículo de carga al tanque de almacenamiento. Sobre una de las muestras, por cuenta del constructor, se deben realizar los ensayos de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad, y sobre la otra, en el caso de ser necesarios, los ensayos de contraste. Si los resultados de las pruebas de contraste no son satisfactorios, se rechaza el producto y las partidas de trabajo que eventualmente se hubiesen fabricado con él. Los laboratorios en donde se realicen los ensayos de contraste, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados contengan la aprobación y autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
 - La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.
 - Las muestras para contraste se deben guardar en recipientes metálicos cerrados con tapa, a temperaturas entre menos doce grados Celsius (- 12 °C) y menos dieciocho grados Celsius (- 18 °C) para mantener su consistencia en estado sólido y disminuir el deterioro de sus propiedades por efecto del tiempo de almacenamiento y de exposición al ambiente, durante el tiempo que se requiera, hasta la realización de los ensayos de contraste en laboratorio.
 - Se debe controlar la calidad del cemento asfáltico original con que se elabora el cemento asfáltico modificado con GCR, según las disposiciones del artículo 410.
 - El interventor debe exigir al constructor la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en la Tabla 413 – 3 con una frecuencia recomendada de una (1) vez cada mes y como mínimo tres (3) veces durante la ejecución de la obra. Para proyectos de duración inferior a un (1) mes, basta con la realización de una (1) sola comprobación. De igual manera debe revisar la granulometría del GCR.
 - El proveedor del asfalto modificado con GCR debe entregar la clasificación por el sistema PG (*Performance Grade*), para este ligante y el asfalto original, acompañada de los resultados de los ensayos que la definen y establecida para cada despacho o suministro, según lo indicado en el numeral 413.2.4. No se acepta el empleo de suministros de cemento asfáltico que no estén respaldados por esta certificación del fabricante.

- Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de cemento asfáltico modificado con GCR incorporado en las mezclas que el interventor haya aprobado.

No se admite tolerancia alguna en relación con los límites que se establecen en la Tabla 413 – 3 o en la especificación particular del proyecto. Por lo tanto, su incumplimiento implica el rechazo del producto.

413.6 Medida

La unidad de medida del cemento asfáltico modificado con GCR debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, incorporado en la mezcla asfáltica, debidamente aprobada por el interventor

Para determinar la cantidad de asfalto por pagar, se debe calcular la masa de la mezcla aceptada en su posición final, mediante el producto del volumen aprobado por su densidad media en obra en cada lote y, posteriormente, aplicando a este valor el porcentaje de asfalto promedio que resulte de los ensayos de extracción sobre muestras representativas del volumen de mezcla aceptada.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

413.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato por el cemento asfáltico modificado con GCR, efectivamente incorporado en la mezcla asfáltica en caliente aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de fabricación e incorporación del cemento asfáltico modificado con GCR, manejo, transporte y almacenamiento. Además, debe cubrir los costos por concepto de patentes, desperdicios y, en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

413.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
413.1	Cemento asfáltico modificado con GCR tipo I	Kilogramo (kg)
413.2	Cemento asfáltico modificado con GCR tipo II	Kilogramo (kg)
413.3	Cemento asfáltico modificado con GCR tipo III	Kilogramo (kg)

Suministro de cemento asfáltico modificado con polímeros

Artículo 414 – 22

414.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de cemento asfáltico modificado con polímeros para la fabricación de mezclas asfálticas que se elaboren con dicho producto, de conformidad con lo establecido en los artículos correspondientes de estas especificaciones.

414.2 Materiales

414.2.1 Definición

El cemento asfáltico modificado (CAM) con polímeros es un ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de polímeros con un cemento asfáltico, de los definidos en el artículo 410, Suministro de cemento asfáltico. Se consideran comprendidos dentro de este artículo, los cementos asfálticos modificados con polímeros suministrados a granel y los que se fabriquen en el lugar de empleo, en instalaciones específicas independientes.

Los cementos asfálticos modificados con polímeros deben presentar un aspecto homogéneo y estar prácticamente exentos de agua, de modo que no formen espuma cuando se calienten a la temperatura de empleo.

414.2.2 Designación y especificaciones

La designación del tipo de cemento asfáltico modificado con polímeros se debe realizar mediante la siguiente expresión:

$$P_{inf} / P_{sup} - T^{\circ} \quad [414.1]$$

Donde:

P_{inf} , límite inferior de penetración del tipo de asfalto (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm).

P_{sup} , límite superior de penetración del tipo de asfalto (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm).

T° , punto de ablandamiento mínimo de la categoría (°C).

Las características básicas de los tipos de cementos asfálticos modificados con polímeros están indicadas en la Tabla 414 – 1.

El tipo CAM-1 define a un asfalto modificado de alta consistencia, recomendado para la manufactura de mezclas asfálticas de alto módulo (ver artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico)).

El tipo CAM-4 se basa en las propiedades de cementos asfálticos convencionales modificados con etil-vinil-acetato (EVA), o polietileno de alta o baja densidad (HDPE, LDPE) entre otros, y se emplea en la elaboración de mezclas asfálticas de tipo drenante, en climas cálidos y vías con elevados índices de tránsito.

Los tipos CAM-2, CAM-3, CAM-5 y CAM-6 por lo general se basan en las propiedades de cementos asfálticos convencionales modificados con bloques de estireno-butadieno (SB) o estireno-butadieno-estireno (SBS). Se utilizan en mezclas asfálticas para carpetas

delgadas y estructurales de pavimentos, con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos. Los tipos CAM-2 y CAM-3 en general se deben aplicar en mezclas drenantes, discontinuas, y densas, semidensas y gruesas, en caliente. El tipo CAM-5 en mezclas discontinuas, y densas, semidensas y gruesas, en caliente y en zonas de altas exigencias; y el tipo CAM-6 se debe utilizar en la elaboración de mezclas antirreflectivas de grietas del tipo arena-asfalto o riegos en caliente para membranas de absorción de esfuerzos.

Tabla 414 – 1. Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros (Nota 1)

Característica	Norma de ensayo	Tipos de cementos asfálticos modificados con polímeros (Nota 2)					
		CAM-1	CAM-2	CAM-3	CAM-4	CAM-5	CAM-6
		15/40-65	40/70-58	55/70-58	55/70-58	55/70-65	80/130-60
Asfalto base original							
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	Reportar los resultados de estas propiedades del asfalto base conforme al artículo 410					
Punto de ablandamiento (°C)	INV E-712						
Índice de penetración	INV E-724						
Viscosidad a 60 °C, mínima (Pa·s)	INV E-716 o INV E-717						
Viscosidad a 135 °C, mínima (Pa·s)	o NTC 5117:2017						
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min), mínima (cm)	INV E-702						
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	INV E-713						
Punto de inflamación mediante copa abierta de Cleveland, mínimo (°C)	INV E-709						

Característica	Norma de ensayo	Tipos de cementos asfálticos modificados con polímeros (Nota 2)					
		CAM-1	CAM-2	CAM-3	CAM-4	CAM-5	CAM-6
		15/40-65	40/70-58	55/70-58	55/70-58	55/70-65	80/130-60
Asfalto modificado fresco							
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	15 – 40	40 – 70	55 – 70	55 – 70	55 – 70	80 – 130
Penetración (4 °C, 200 g, 5 s) (0,1 mm)	INV E-706	Reportar					
Punto de ablandamiento, mínimo (°C)	INV E-712	65	58	58	58	65	60
Ductilidad (5 °C, 5 cm/min), mínima (cm)	INV E-702	Reportar	15	15	Reportar	15	30
Viscosidad aparente a 135 °C (Pa·s)	ASTM D7741M	Reportar					
Viscosidad aparente a 175 °C (Pa·s)		Reportar					
Recuperación elástica por torsión a 25 °C, mínima (%)	INV E-727	15	40	40	15	70	70
Recuperación elástica por tensión a 25 °C, mínima (%)	UNE-EN 13398	Reportar					
Estabilidad al almacenamiento: cambio en el punto de ablandamiento, máximo (°C)	INV E-726	5	5	5	5	5	5
Contenido de agua, máximo (%)	INV E-704	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Punto de inflamación mediante la copa abierta Cleveland, mínimo (°C)	INV E-709	230	230	230	230	230	230
Resiliencia a 25 °C (%)	ASTM D5329	Reportar					
Residuo del ensayo de pérdida por calentamiento en película delgada rotatoria, norma de ensayo INV E-721 o ASTM D1754 (3,2 mm, 50 g, 163 °C) (Nota 3)							
Cambio de masa a 163 °C, máximo (%)	INV E-720	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Viscosidad a 135 °C (Pa·s)	ASTM D7741M	Reportar					

Característica	Norma de ensayo	Tipos de cementos asfálticos modificados con polímeros (Nota 2)					
		CAM-1	CAM-2	CAM-3	CAM-4	CAM-5	CAM-6
		15/40-65	40/70-58	55/70-58	55/70-58	55/70-65	80/130-60
Penetración del residuo, en porcentaje (%) de la penetración original, mínimo	INV E-706	70	50	65	65	65	60
Incremento en el punto de ablandamiento, máximo (°C)	INV E-712	10	10	10	10	10	10
Ductilidad (5 °C, 5 cm/min), mínima (cm)	INV E-702	Reportar	8	8	Reportar	8	15
Índice de envejecimiento: relación entre viscosidades a 135 °C, del asfalto residual y el asfalto original	NTC 5117:2017 o ASTM D7741M	Reportar					

Nota 1: estas especificaciones consideran el cambio en las propiedades y el efecto de envejecimiento a corto plazo, que experimenta el asfalto, en las diferentes etapas requeridas para la producción en fase húmeda del asfalto modificado con polímeros.

Nota 2: se pueden utilizar cementos asfálticos modificados con polímeros, diferentes a los citados en este numeral, siempre que se puedan clasificar según las exigencias respectivas de la Tabla 414 — 1. En caso contrario debe ser objeto de una especificación particular.

Nota 3: el método RTFO (norma INV E-720) puede ser empleado para obtener el asfalto modificado con polímeros residual para reemplazar al método TFOT (norma INV E-721), sin embargo, se mantiene el método TFOT como referencia para cuando se requiera dirimir los conflictos.

414.2.3 Especificaciones complementarias para el cemento asfáltico modificado con polímeros

Además de los ensayos básicos mencionados en la Tabla 414 — 1, el proveedor del cemento asfáltico modificado con polímeros debe entregar la clasificación de este ligante y la del original, por el sistema PG (*Performance Grade*), según la norma AASHTO M 320, *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*, acompañada de los

resultados de los ensayos respectivos que definen esta clasificación.

Los documentos del proyecto pueden establecer un requisito para la clasificación PG del asfalto modificado con polímeros. Si no lo establecen, para el asfalto original la clasificación debe ser como mínimo, PG 64 — 22 para los asfaltos de penetración 60 — 70, y PG 58 — 22 para el asfalto de penetración 80 — 100; para el asfalto modificado con polímeros, el rango de temperaturas de

la clasificación PG (máxima menos mínima) del asfalto modificado debe mostrar un incremento mínimo de seis grados Celsius (6 °C) con respecto al mismo rango en el asfalto original.

414.3 Equipo

En adición a las condiciones generales del numeral 400.3 del artículo 400, se debe tener en cuenta lo siguiente:

414.3.1 Vehículos de transporte

Cuando no se fabrique en el lugar de empleo, el transporte del cemento asfáltico modificado con polímeros desde la planta de producción a la planta mezcladora se debe efectuar en caliente y a granel, en carrotanques con adecuados sistemas de calefacción y termómetros ubicados en sitios visibles. Los vehículos deben estar dotados, además, de los medios mecánicos que permitan el rápido trasvase de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, deben disponer de dispositivos adecuados para la toma de muestras.

414.3.2 Depósitos de almacenamiento

Los materiales asfálticos modificados con polímeros deben ser almacenados en tanques, específicamente diseñados para ese propósito, con el fin de minimizar el posible endurecimiento durante el almacenamiento. Se deben considerar ciertos aspectos de diseño, para reducir el riesgo de sobrecalentar el asfalto. Los tanques deben estar provistos de sensores de temperatura instalados cerca de los dispositivos de calentamiento y de preferencia removibles para facilitar la limpieza y mantenimiento de rutina. Así mismo, los

tanques deben disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Los materiales asfálticos modificados con polímeros se deben almacenar en depósitos adecuadamente ubicados, con la capacidad suficiente para recibir cada entrega, que reúnan los requisitos necesarios para evitar la contaminación de los productos que contengan, que estén protegidos contra incendios, fugas y pérdida excesiva de fracciones volátiles y que cuenten con los equipos adecuados para calentar el producto cuando así se requiera, como también con los elementos necesarios para su carga, descarga y limpieza.

Antes de utilizar los depósitos, estos deben ser limpiados cuidadosamente, eliminando natas o residuos de otros productos, materiales extraños o materiales asfálticos de tipo diferente al que se va a almacenar. Esta operación se debe repetir cada vez que sea necesario para evitar la contaminación del producto.

Cada depósito de almacenamiento se debe identificar, indicando en un lugar visible, su capacidad, el tipo de material asfáltico que contiene y, cuando se trate de recipientes, el origen del material y la fecha de producción. Así mismo, para cada depósito el productor debe llevar un registro en el que se indiquen las fechas y los volúmenes de los suministros recibidos y de las salidas de material, así como documentar los resultados de las pruebas de verificación de la uniformidad para el asfalto contenido en cada tanque de almacenamiento; se requiere que la planta de suministro realice el registro histórico del control de producción y de los despachos de material, para que el interventor apruebe el

suministro del cemento asfáltico modificado con polímeros.

El tiempo máximo de almacenamiento y la necesidad o no de disponer de sistemas de homogeneización en los carrotanques y en los tanques de almacenamiento, se deben determinar en cada caso particular, de acuerdo con las características del asfalto modificado.

414.4 Ejecución de los trabajos

414.4.1 Recibo del producto

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del cemento asfáltico modificado con polímeros, con la siguiente información:

- Tipo de cemento asfáltico modificado, de acuerdo con la denominación descrita en el numeral 414.2.2.
- Fechas de elaboración y despacho.
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 414 – 1.

No se acepta el empleo de suministros de cemento asfáltico modificado con polímeros que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

La certificación no evita la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega. De todas maneras, el interventor se debe abstener de aceptar el empleo de

suministros de cemento asfáltico modificado con polímeros que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Con la frecuencia que el interventor considere pertinente, se deben comprobar los sistemas de transporte y trasvase, las condiciones de almacenamiento y el asfalto modificado, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material; el interventor puede ordenar la suspensión de la utilización del contenido del tanque o carrotanque, mientras se realizan las comprobaciones que este estime convenientes de las características de calidad del cemento asfáltico modificado con polímeros.

Cuando la fabricación del asfalto modificado se lleve a cabo en una instalación anexa a la planta asfáltica, el interventor debe definir los lotes de características homogéneas, de los que se deben tomar muestras representativas para la evaluación por parte del fabricante, según el procedimiento descrito en la norma INV E-701 y las respectivas normas de ensayo, para satisfacer las condiciones establecidas en este artículo.

El empleo del cemento asfáltico modificado en la elaboración de mezclas asfálticas se debe hacer conforme lo establece el artículo correspondiente a la partida de trabajo de la cual forme parte.

414.4.2 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 y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

414.5 Condiciones para el recibo del producto

414.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que, en las operaciones de suministro del cemento asfáltico modificado con polímeros, el constructor cumpla la legislación vigente en relación con los temas ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Verificar el estado y funcionamiento de los equipos de transporte y almacenamiento del cemento asfáltico modificado con polímeros.
- Verificar que, durante el vaciado de los carrotanques, no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto, generar incendios o poner en riesgo la integridad de la flora o la seguridad de personas, bienes o animales.
- Tomar muestras para los ensayos que indica la Tabla 414 — 1, cada vez el intervisor lo estime conveniente y efectuar las respectivas pruebas. Las muestras se deben tomar de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-701.
- Verificar que no se produzca calentamiento excesivo del cemento asfáltico modificado con polímeros, antes de su mezcla con los agregados pétreos, que induzca la oxidación prematura del producto o la degradación del polímero, de manera tal que impida su ajuste a las exigencias del ítem en ejecución.

414.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Al respecto, se deben adelantar las siguientes actividades:

- De cada carrotanque de asfalto modificado con polímeros que llegue a la planta se deben tomar dos (2) muestras, cada una con al menos un kilogramo (1 kg) (norma INV E-701), en el momento del trasvase del material del carrotanque al tanque de almacenamiento. Sobre una de las muestras se deben realizar los ensayos de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad, y con la otra, en caso de ser necesario, se deben llevar a cabo los ensayos de contraste. Si los resultados de las pruebas de contraste no son satisfactorios, se debe rechazar el producto y las partidas de trabajo que eventualmente se hubiesen fabricado con este. Los laboratorios en donde se realicen los ensayos de contraste, deben ser empresas legalmente constituidas que cuenten con experiencia y/o trayectoria en ejecución de pruebas y ensayos de control de calidad de materiales, que puedan demostrar apropiadamente la competencia de su personal de laboratorio y cuyos informes de resultados contengan la aprobación y autorización para su emisión, mediante la firma del responsable técnico facultado para ello. El laboratorio debe contar con todo el equipamiento principal y auxiliar necesario para el correcto desempeño de sus actividades y asegurar que estos cuenten con la exactitud y precisión adecuadas para lograr resultados válidos. El laboratorio debe contar con un programa de calibración de sus equipos y se debe asegurar de que los resultados

de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), mediante alguna de las siguientes alternativas:

- La calibración de los equipos proporcionados por un laboratorio de metrología acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC).
- La comparación directa o indirecta a patrones nacionales o internacionales que cuenten con unidades del SI.
- Los valores certificados de materiales de referencia (MRC) proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al SI.
- Las muestras de contraste se deben guardar en recipientes metálicos cerrados con tapa a una temperatura aproximada, entre menos doce grados Celsius (- 12 °C) y menos dieciocho grados Celsius (- 18 °C), para mantener su consistencia en estado sólido y disminuir el deterioro de sus propiedades por el tiempo de almacenamiento y de exposición al ambiente, hasta cuando se requiera para la realización de los ensayos de laboratorio.
- El interventor debe exigir la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en la Tabla 414 — 1 con una frecuencia recomendada, de una (1) vez cada mes y como mínimo tres (3) veces, durante la ejecución de la obra. Para proyectos con duración inferior a un (1) mes, basta con la realización de una (1) sola comprobación. En el desarrollo de estas actividades no se admite tolerancia alguna en relación con los límites que se establecen en la Tabla 414 — 1 o en la especificación particular del proyecto, por tanto, su incumplimiento implica el rechazo del producto.

- El proveedor del asfalto modificado con polímeros debe entregar la clasificación por el sistema PG (*Performance Grade*), para este ligante y el asfalto original, acompañada de los resultados de los ensayos que la definen y realizada para cada despacho o suministro, según lo establecido en el numeral 414.2.3. No se acepta el empleo de suministros de cemento asfáltico modificado que no estén respaldados por la certificación del fabricante.
- Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de cemento asfáltico modificado con polímeros incorporado en las mezclas que el interventor haya aprobado.

El interventor puede verificar en cualquier momento el cumplimiento del cemento asfáltico modificado con polímeros suministrado, en cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta especificación, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

414.6 Medida

Para pago, el cemento asfáltico modificado con polímeros se debe medir en aquellas unidades de obra en que el artículo correspondiente a la unidad de la que forme parte indique que su suministro se debe pagar por separado. En este caso, la unidad de medida del cemento asfáltico modificado con polímeros debe ser el kilogramo (kg), aproximado al kilogramo entero, incorporado en la mezcla asfáltica debidamente aprobada por el interventor.

Para determinar la cantidad de asfalto por pagar, se debe calcular la masa de la mezcla aprobada en su posición final, mediante

el producto del volumen aprobado por su densidad media en obra en cada lote y, posteriormente, aplicando a este valor el porcentaje de asfalto promedio que resulte de los ensayos de extracción sobre muestras representativas del volumen de mezcla aprobada. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

414.7 Forma de pago

En aquellas unidades de obra en que el artículo indique que el suministro de cemento asfáltico se debe pagar por separado, el pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por el cemento asfáltico modificado con polímeros, efectivamente incorporado en la mezcla asfáltica, en su posición final, debidamente aprobada por el interventor.

El precio unitario debe incluir todos los costos de suministro en obra del cemento asfáltico modificado con polímeros, manejo, almacenamiento, calentamiento y transportes entre la planta de producción del asfalto y el sitio

de colocación final. Además, debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor, así como por concepto de patentes, desperdicios y, en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

414.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
414.1	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-4	Kilogramo (kg)
414.2	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-2	Kilogramo (kg)
414.3	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-3	Kilogramo (kg)
414.4	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-5	Kilogramo (kg)
414.5	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-6	Kilogramo (kg)
414.6	Cemento asfáltico modificado con polímeros tipo CAM-1	Kilogramo (kg)

Suministro de emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros

Artículo 415 – 22

415.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro de una emulsión asfáltica modificada con polímeros, de tipo catiónico y características de rotura apropiadas, en el sitio de ejecución de riegos de liga, tratamientos superficiales, micro-aglomerados, sellos de arena-asfalto, lechadas asfálticas, reciclados en frío e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación, contruidos de acuerdo con lo establecido en la especificación correspondiente al ítem en ejecución y conforme a las exigencias de la presente especificación.

415.2 Materiales

415.2.1 Definición

La emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros es una dispersión de pequeñas partículas de asfalto y de un polímero, en una solución de agua y un agente emulsificante de carácter catiónico, lo cual determina la denominación de la emulsión. Al poner en contacto esta emulsión con el material pétreo, se produce un desequilibrio que ocasiona su rotura, llevando a las partículas del asfalto a adherirse a la superficie del material pétreo. Las emulsiones asfálticas catiónicas se deben fabricar a base de cemento asfáltico

modificado de los definidos en el artículo 414, o a base de un cemento asfáltico de los definidos en el artículo 410 más un polímero. Deben presentar un aspecto homogéneo y una adecuada dispersión del cemento asfáltico en la fase acuosa.

415.2.2 Designación

Para efectos de la aplicación de este artículo y de las presentes Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, la denominación del tipo de emulsión asfáltica se compone de la letra C, representativa del emulsificante catiónico utilizado en su fabricación, seguida de las letras RR, RM o RL según sea su tipo de rotura (rápida, media o lenta). A continuación de las letras anteriores debe haber un guion y el número 60, 65 o 57, indicativo del contenido de asfalto residual empleado en la emulsión. La letra *h*, que acompaña la denominación de las emulsiones de rotura lenta, indica que se trata de una emulsión de alta estabilidad. La condición de emulsión modificada se indica, en todos estos tipos de emulsión, con la letra *m* al final de la sigla correspondiente.

Las emulsiones asfálticas modificadas con polímeros deben cumplir con los requisitos de calidad establecidos en la Tabla 415 – 1.

415.3 Equipo

415.3.1 Vehículos de transporte

El transporte de la emulsión asfáltica modificada con polímeros desde la planta de fabricación hasta el sitio de colocación se debe realizar a granel, en carrotanques que no requieran de aislamientos térmicos ni de calefacción. Los vehículos deben estar dotados de los medios mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, deben disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

Las emulsiones bituminosas de rotura lenta, para micro-aglomerados y reciclados en frío, se deben transportar en carrotanques llenos o al menos al noventa por ciento (> 90 %) de su capacidad, preferiblemente a temperatura ambiente y siempre a una temperatura inferior a cincuenta grados Celsius (< 50 °C), para evitar posibles roturas parciales de la emulsión durante el transporte.

415.3.2 Depósitos de almacenamiento

El almacenamiento que requiera la emulsión asfáltica modificada con polímeros antes de su uso se debe realizar en tanques cilíndricos verticales, con tuberías de fondo para carga y descarga, las cuales se deben encontrar

en posiciones diametralmente opuestas. Los tanques deben tener bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión y deben contar con los aparatos de medición y seguridad necesarios para garantizar su correcto funcionamiento, situados en puntos de fácil acceso. Así mismo, deben disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Además, los tanques deben estar provistos de elementos que permitan la agitación y la recirculación de la emulsión, cuando esta se deba almacenar por un período de tiempo mayor de cinco días (> 5 d) o de otro método aprobado por el interventor.

Cuando los tanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, los carrotanques empleados para el transporte de la emulsión asfáltica modificada con polímeros deben estar dotados de medios neumáticos o mecánicos apropiados para el trasvase rápido de su contenido a los tanques.

Todas las tuberías directas y bombas, preferiblemente rotativas, utilizadas para el trasvase de la emulsión asfáltica, desde el carrotanque de transporte al tanque de almacenamiento y desde este al equipo de aplicación en obra o mezclador, deben estar dispuestas de modo que se puedan limpiar fácil y perfectamente, después de cada aplicación o jornada de trabajo.

Tabla 415 — 1. Especificaciones de emulsiones asfálticas catiónicas modificadas con polímeros

Ensayos sobre la emulsión	Norma de ensayo INV	Tipo de rotura (Nota)				
		Rápida		Media	Lenta	
		CRR-60m	CRR-65m	CRM-60m	CRL-57hm	
Destilación:						
- Contenido de asfalto residual (%)	E-762	Mín.	60	65	60	57
- Contenido de disolventes (%)		Máx.	3	3	12	0
Contenido de agua en volumen (%)	E-761	Máx.	40	35	40	43
Viscosidad:						
- Saybolt-Furol a 25 °C (s)	E-763	Máx.	-	-	-	100
- Saybolt-Furol a 50 °C (s)		Mín.	20	20	20	-
		Máx.	100	300	450	-
Estabilidad durante el almacenamiento:						
- Sedimentación a 24 h (%)	E-764	Máx.	1	1	1	1
- Sedimentación a los 5 días (%)		Máx.	5	5	5	5
Tamizado						
Retenido tamiz de 0,850 mm (nro. 20) (%)	E-765	Máx.	0,1	0,1	0,1	0,1
Rotura:						
- Diocetilsulfosuccinato sódico (%)	E-766	Mín.	40	40	-	-
- Mezcla con cemento (%)	E-770	Máx.	-	-	-	2
Carga eléctrica de la partícula	E-767	-	Positiva			
pH	E-768	Máx.	5	5	5	5
Cubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento:						
- Con agregado seco	E-769		-	Buena	-	-
- Con agregado seco y acción del agua			-	Satisfactoria	-	-
- Con agregado húmedo			-	Satisfactoria	-	-
- Con agregado húmedo y acción del agua			-	Satisfactoria	-	-
Ensayos sobre el residuo de destilación						
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s) (0,1 mm)	E-706	Mín.	60 – 100	60 – 100	100	60
		Máx.	100 – 250	100 – 250	250	100
Punto de ablandamiento (°C)	E-712	Mín.	55 – 45	55 – 45	40	55 – 45
Ductilidad (5 °C, 5 cm/min) (cm)	E-702	Mín.	10	10	10	10
Recuperación elástica por torsión 25 °C (%)	E-727	Mín.	12	12	12	12

Nota: el tipo de rotura se establece de acuerdo con lo indicado en las normas de ensayo ASTM D244 e INV E-767.

415.4 Ejecución de los trabajos

415.4.1 Recibo del producto

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante de la emulsión modificada, con la siguiente información:

- Tipo de emulsión asfáltica y velocidad de rotura.
- Fechas de elaboración y despacho.
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 415 — 1.

No se debe aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica modificada que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Esta certificación no evita la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega. De todas maneras, el interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica modificada que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Con la frecuencia que el interventor considere pertinente, se deben comprobar los sistemas de transporte y trasvase y las condiciones de almacenamiento, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material; el interventor puede ordenar la suspensión de la utilización del contenido del tanque o carrotanque, mientras realiza las comprobaciones que estime convenientes de las características de calidad de la emulsión asfáltica modificada con polímeros.

El empleo de la emulsión asfáltica modificada con polímeros en la elaboración de riegos de liga, tratamientos superficiales, lechadas asfálticas y mezclas abiertas en frío se debe hacer de conformidad con lo establecido en la especificación correspondiente a la partida de trabajo de la cual forma parte.

415.4.2 Manejo ambiental

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

415.5 Condiciones para el recibo del producto

415.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar que, en las operaciones de suministro de la emulsión asfáltica modificada con polímeros, el constructor cumpla la legislación vigente, en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de transporte y de almacenamiento de la emulsión asfáltica modificada con polímeros.
- Verificar que, durante el vaciado de los carrotanques, no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto, generar incendios o poner en riesgo la integridad de la flora ni la seguridad de personas, bienes o animales.

De cada carrotanque de emulsión bituminosa que llegue a la obra se deben tomar dos (2)

muestras de, al menos, dos kilogramos (2 kg), en el momento del trasvase del material del carrotanque al tanque de almacenamiento, de acuerdo con la norma INV E-701, para realizar los ensayos que indica la Tabla 415 – 1.

415.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Al respecto, el interventor debe llevar a cabo las siguientes acciones:

- Comprobar, mediante muestras representativas de cada entrega, el tipo de emulsión, su contenido de asfalto residual y sobre el residuo de evaporación se debe hacer la determinación de su penetración, punto de ablandamiento y recuperación elástica por torsión.
- Guardar, en todos los casos, una muestra para eventuales ensayos ulteriores de contraste, cuando alguna de las partes manifieste inconformidad con los resultados iniciales.
- Exigir al constructor la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en la Tabla 415 – 1, con una frecuencia recomendada de una (1) vez cada mes y como mínimo de tres (3) veces durante la ejecución de la obra. Para proyectos con duración inferior a un (1) mes, basta con la realización de una (1) sola comprobación.
- Indicar las medidas a adoptar en el caso en que la emulsión modificada con polímeros no cumpla alguna de las características establecidas en la Tabla 415 – 1.
- Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de emulsión asfáltica modificada con polímeros incorporada en riegos de liga, tratamientos superficiales,

lechadas asfálticas y mezclas abiertas en frío.

- Realizar como mínimo sobre dos (2) muestras, si la emulsión bituminosa hubiese estado almacenada durante un lapso superior a quince días (> 15 d) antes de su empleo, una de la parte superior y otra de la inferior del tanque de almacenamiento, el ensayo de tamizado, según la norma INV E-765 y el ensayo de contenido de ligante, de acuerdo con la norma INV E-762. Si no cumple lo establecido para esta característica, se debe proceder a su homogeneización y a la realización de nuevos ensayos, o a su retirada por rechazo si los resultados de estos últimos no resultan satisfactorios. El almacenamiento de quince días (15 d), se debe reducir a cinco días (5 d), cuando se trate de emulsiones con rotura lenta.

415.6 Medida

La unidad de medida de la emulsión asfáltica modificada con polímeros debe ser el litro (L), aproximado al litro entero, de emulsión incorporada en las mezclas ejecutadas, aprobadas por el interventor. El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida para cada uno de los ítems, empleando el método de redondeo indicado por la norma INV E-823.

Debido a que al aplicarse la emulsión en obra se pierde el agua que contiene, la determinación de la cantidad de emulsión realmente utilizada se debe hacer a partir de la masa de la mezcla aceptada en su posición final, la cual se obtiene multiplicando el volumen aprobado por la densidad media obtenida en obra en cada lote. A la masa así determinada,

se le debe aplicar el porcentaje promedio de asfalto que resulte de los ensayos de extracción sobre muestras representativas de la mezcla aceptada.

Como este valor corresponde únicamente a asfalto residual, su conversión a emulsión asfáltica modificada con polímeros se debe realizar de acuerdo con la concentración de esta. Por último, la conversión de masa de emulsión a volumen se debe realizar considerando la densidad de un kilogramo por litro (1 kg/L). Para efectos de pago, se debe considerar siempre una emulsión asfáltica con una concentración del sesenta por ciento (60 %); por lo tanto, si la emulsión suministrada y utilizada tiene una concentración diferente, se debe hacer la conversión correspondiente mediante la siguiente expresión:

$$\left(\text{Volumen para pago} \right) = \left(\text{Volumen aplicado} \right) * \frac{C}{60 \%} \quad [415.1]$$

Donde:

C, concentración de la emulsión empleada, en porcentaje.

No debe haber medida, para efectos de pago separado, de la emulsión asfáltica modificada con polímeros utilizada en riegos de liga, tratamientos superficiales simples o dobles, lechadas asfálticas e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación.

415.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por la emulsión asfáltica modificada con polímeros, efectivamente incorporada en

las mezclas en su posición final, aprobadas por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de suministro de la emulsión modificada con polímeros en obra, manejo, almacenamiento y transportes entre la planta de fabricación de la emulsión y el sitio de colocación final. Además, debe cubrir los costos por concepto de administración e imprevistos y la utilidad del constructor, así como de patentes, desperdicios y en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

No debe haber ningún pago separado por concepto de la emulsión asfáltica modificada con polímeros cuando sea incorporada en riegos de liga (artículo 421), tratamientos superficiales (artículo 430), sello de arena-asfalto (artículo 432), lechada asfáltica (artículo 433), mezclas asfálticas en frío (densas o abiertas) (artículo 440), reciclado de pavimentos asfálticos *in situ* empleando ligantes bituminosos (artículo 461) e instalación de geotextiles y geomallas para repavimentación (artículo 464).

415.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
415.1	Emulsión asfáltica de rotura media modificada con polímeros, CRM-60m	Litro (L)
415.2	Emulsión asfáltica de rotura rápida modificada con polímeros, CRR-60m	Litro (L)
415.3	Emulsión asfáltica de rotura rápida modificada con polímeros, CRR-65m	Litro (L)
415.4	Emulsión asfáltica de rotura lenta modificada con polímeros, CRL-57hm	Litro (L)

Suministro de asfalto líquido para riegos de imprimación

Artículo 416 – 22

416.1 Descripción

Esta especificación se refiere al suministro en el sitio, del asfalto líquido por utilizar en la elaboración de riegos de imprimación, de acuerdo con lo establecido en el artículo 420.

416.2 Materiales

416.2.1 Definición

El asfalto líquido es un ligante hidrocarbonado resultante de incorporar a un cemento asfáltico, de los definidos en el artículo 410, fracciones líquidas más o menos volátiles procedentes de la destilación del petróleo.

416.2.2 Designación y especificaciones

La designación del asfalto líquido para riegos de imprimación se define con las letras MC, indicativas de curado medio, por la incorporación del queroseno como solvente,

seguidas por un número 30 que identifica la viscosidad mínima del producto a sesenta grados Celsius (60 °C), medida en centistokes (cSt). Sus características de calidad deben ser las indicadas en la Tabla 416 — 1.

416.3 Equipo

En adición a lo que resulte pertinente del numeral 400.3 del artículo 400, es aplicable lo siguiente:

416.3.1 Vehículos de transporte

El transporte del asfalto líquido para riegos de imprimación desde la planta de fabricación hasta el sitio de colocación se debe realizar a granel, en carrotaques que no requieran aislamientos térmicos ni calefacción. Los vehículos deben estar dotados de los medios mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento. Así mismo, deben disponer de un elemento adecuado para la toma de muestras.

Tabla 416 — 1. Especificaciones del asfalto líquido para riegos de imprimación

Característica	Unidad	Norma de ensayo INV	MC 30	
			Mín.	Máx.
Punto de inflamación (Copa abierta de Tag.)	°C	E-710	38	-
Viscosidad a 60 °C	cSt (Pa·s)	E-715/E-717	30 (0,03)	60 (0,06)
Viscosidad Saybolt-Furol a 25 °C	s	E-714	75	150

Característica	Unidad	Norma de ensayo INV	MC 30	
			Mín.	Máx.
Destilación: Destilado (porcentaje (%)) sobre el volumen total destilado hasta 360 °C): - A 225 °C - A 260 °C - A 316 °C	% % %	E-723	- 40 75	25 70 93
Residuo de destilación a 360 °C (porcentaje (%) en volumen por diferencia)	%	E-723	50	60
Ensayos sobre el residuo de la destilación				
Penetración (25 °C, 100 g, 5 s)	0,1 mm	E-706	120	300
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	cm	E-702	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99,5	100

416.3.2 Depósitos de almacenamiento

El almacenamiento que requiera el asfalto líquido, antes de su aplicación para los riegos de imprimación, se debe realizar en tanques adecuados para tal fin, con bocas de ventilación para evitar que trabajen a presión, lejos de fuentes de calor e ignición, y deben contar con los aparatos de medición y protección contra incendios, fugas y pérdida excesiva de solventes para garantizar su correcto funcionamiento, situados en puntos de fácil acceso. Así mismo, deben disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Cuando los tanques de almacenamiento no dispongan de medios de carga propios, los carrotanques empleados para el transporte del asfalto líquido deben estar dotados de medios neumáticos o mecánicos apropiados para el trasvase rápido de su contenido a los tanques. Cuando se empleen bombas de trasvase, se deben preferir las de tipo rotativo a las centrífugas. El trasvase desde el carrotanque al tanque de almacenamiento se debe realizar siempre por tubería directa.

Todas las tuberías usadas para el trasvase del asfalto líquido para imprimación, del carrotanque al tanque de almacenamiento y de este al equipo de empleo, deben estar dispuestas de manera que se puedan limpiar fácilmente después de cada aplicación y/o jornada de trabajo.

416.4 Ejecución de los trabajos

416.4.1 Recibo del producto

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del asfalto líquido, con la siguiente información:

- Tipo de asfalto líquido, tipo de solvente y velocidad de curado.
- Fechas de elaboración y despacho.
- Resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, con la lista de verificación que muestre la conformidad con los requisitos establecidos en la Tabla 416 — 1.

No se debe aceptar el empleo de suministros de asfalto líquido que no se encuentren respaldados por la certificación correspondiente dada por el fabricante.

La certificación no implica necesariamente la aceptación del producto, ni evita que el interventor pueda ordenar la verificación de su calidad mediante los ensayos indicados en la Tabla 416 — 1, conforme se indica en el numeral 416.5.2.

Con la frecuencia que el interventor considere pertinente, se deben comprobar los sistemas de transporte y trasvase y las condiciones de almacenamiento, en todo cuanto pueda afectar la calidad del material. El interventor puede ordenar la suspensión de la utilización del contenido del tanque o carrotanque, mientras se realizan las comprobaciones que estime convenientes de las características de calidad del asfalto líquido.

El asfalto líquido para riegos de imprimación solamente puede ser empleado en la ejecución de la partida de trabajo a la cual se refiere el artículo 420.

416.4.2 Manejo ambiental

Al respecto, rige el artículo 106, Aspectos ambientales, y todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400 y lo establecido en la hoja de seguridad del producto.

416.5 Condiciones para el recibo del producto

416.5.1 Controles generales

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el cumplimiento de la legislación vigente en relación con las materias ambiental, de seguridad industrial, almacenamiento y transporte.
- Verificar el estado y el funcionamiento de los equipos de transporte y almacenamiento del asfalto líquido para riegos de imprimación.
- Verificar que, durante el vaciado de los carrotanques, no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto, generar incendios o poner en riesgo la integridad de la flora ni la seguridad de personas, bienes o animales.
- Cada vez el interventor lo estime conveniente, se deben tomar muestras para los ensayos que indica la Tabla 416 — 1 y se deben efectuar las respectivas pruebas. Las muestras se deben tomar de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-701.

416.5.2 Controles específicos para el recibo y tolerancias

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- En el momento del trasvase del asfalto líquido de cada carrotanque al tanque de almacenamiento, se deben tomar dos (2) muestras representativas, de al menos un litro (1 L) cada una, de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-701 y sobre una de ellas se deben realizar los ensayos de viscosidad Saybolt-Furol (norma INV E-714), destilación (norma INV E-723) y penetración sobre el residuo de destilación (norma INV E-706), conservando la otra muestra para eventuales ensayos ulteriores de contraste, en caso de

que alguna de las partes manifieste inconformidad con los resultados iniciales. Si los resultados de las pruebas de contraste no son satisfactorios en alguna de las características, se debe rechazar el producto y los riegos que eventualmente se hubiesen fabricado con este.

- El interventor debe exigir la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en la Tabla 416 — 1 con una frecuencia recomendada de una (1) vez cada mes y como mínimo tres (3) veces durante la ejecución de la obra. Para proyectos con duración inferior a un (1) mes, basta la realización de una (1) sola comprobación.

416.6 Medida

No debe haber lugar a medida, para efectos de pago separado, del asfalto líquido destinado a la ejecución de riegos de imprimación.

416.7 Forma de pago

No debe haber pago separado por el asfalto líquido para la ejecución de riegos de imprimación. Por lo tanto, todos los costos que implique el suministro en el sitio, patentes, manejo, almacenamiento, desperdicios, cargues, descargues, aplicación en la obra y cualquier otro costo requerido para la correcta ejecución de la imprimación, deben estar incluidos dentro del precio unitario del ítem correspondiente, en el artículo 420.

Riego de imprimación

Artículo 420 – 22

420.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, el eventual calentamiento y la aplicación uniforme de una emulsión asfáltica o un asfalto líquido sobre una superficie granular (no tratada) terminada, previamente a la extensión de una capa asfáltica o un tratamiento bituminoso, con el propósito de impermeabilizar, cubrir, ligar las partículas sueltas y proveer adhesión entre la capa existente y la capa asfáltica siguiente. El riego también se puede aplicar a bermas construidas en material granular y a sus taludes.

Eventualmente, el trabajo incluye también, el suministro y la aplicación de un agregado fino sobre la imprimación para absorber eventuales excesos del material de imprimación o para la protección de la superficie imprimada, cuando se requiera.

420.2 Materiales

420.2.1 Material bituminoso

Los documentos del proyecto deben indicar el tipo de material bituminoso, de los presentados en la Tabla 420 – 1, que debe ser utilizado para el riego de imprimación.

Tabla 420 – 1. Materiales bituminosos para el riego de imprimación

Tipo de material	Denominación	Requisitos
Emulsión asfáltica	Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta tipo CRL-40	Artículo 411
	Emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta tipo CRL-57	
Asfalto líquido	Asfalto líquido MC 30	Artículo 416

Cuando se emplee emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta tipo CRL-57, esta se debe diluir en agua, hasta que tenga una concentración aproximada de cuarenta por ciento (40 %).

420.2.2 Agregado de protección

El agregado de protección de la superficie imprimada se define como aquel material que se aplica sobre el riego de imprimación,

en una capa de pequeño espesor, de manera que brinde protección en caso de estar expuesto al tránsito inmediatamente después de su aplicación. Este material debe ser arena natural, arena de trituración o una mezcla de ambas, la cual debe estar exenta de terrones de arcilla u otros materiales objetables. Sus características deben ser las mismas que se exigen a los agregados para el sello de arena-asfalto, según el

artículo 432, exceptuándose los requisitos de durabilidad, angularidad y adhesividad (método de Riedel-Weber).

420.3 Equipo

Además de lo que se indica a continuación, rige lo descrito en el numeral 400.3 del artículo 400.

Para los trabajos de imprimación se requieren elementos mecánicos de limpieza, carrotanques irrigadores de asfalto y, eventualmente, distribuidores mecánicos de agregados.

420.3.1 Equipo de limpieza

El equipo para la limpieza previa de la superficie donde se deba aplicar el riego de imprimación debe estar constituido por una barredora mecánica de tipo rotatorio y/o una sopladora mecánica, autopropulsadas o arrastradas por tractor, equipos que se utilizan siempre que las autoridades ambientales autoricen su empleo. Como equipo adicional, se puede utilizar compresores y escobas y demás implementos que el interventor autorice y que cumplan las disposiciones ambientales vigentes, especialmente en lo que refiere al manejo del material particulado, y protección del personal y la comunidad.

420.3.2 Equipo de irrigación

El carrotanque irrigador debe aplicar el producto asfáltico para imprimación de manera uniforme y constante, a la temperatura apropiada, sin que lo afecte la carga, la pendiente de la vía o la dirección del vehículo. Sus dispositivos de irrigación deben proporcionar una

distribución transversal adecuada del ligante. El vehículo debe estar provisto de un velocímetro calibrado en metros por segundo (m/s), o pies por segundo (pie/s), visible al conductor, para mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme del asfalto en sentido longitudinal.

El carrotanque debe aplicar el producto asfáltico a presión y para ello debe disponer de una bomba de impulsión, accionada por motor y provista de un indicador de presión. También debe estar provisto de un termómetro para el ligante, cuyo elemento sensible no se pueda encontrar cerca de un elemento calentador, y debe estar calibrado. Previo al inicio de las labores, el interventor debe verificar la calibración del equipo o requerir que el constructor presente la documentación que certifique dicha calibración, en cuyo caso la misma no puede ser superior a un año.

Para áreas inaccesibles al equipo irrigador y para retoques y aplicaciones mínimas, se debe usar una caldera regadora portátil, con sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carrotanque, con una boquilla de expansión que permita un riego uniforme. Por ningún motivo, se debe permitir el empleo de regaderas u otros dispositivos de aplicación manual por gravedad.

420.3.3 Equipo de distribución de agregado

Para la aplicación del agregado de protección se deben emplear distribuidores mecánicos, acoplados a un camión o autopropulsados, que permitan la aplicación homogénea de la arena. Previa autorización del interventor, el agregado se puede aplicar manualmente en

sitios puntuales o de difícil acceso para el equipo de distribución mecánica.

420.4 Ejecución de los trabajos

420.4.1 Preparación de la superficie existente

Antes de autorizar los trabajos de imprimación, se debe comprobar que la superficie sobre la cual se va a efectuar la aplicación cumpla todos los requisitos especificados, en cuanto a conformación, compactación y acabado de la capa granular a la cual corresponda.

Si la superficie presenta fallas o imperfecciones, tales como ahuellamientos, corrugaciones, segregaciones, agua libre, encharcada u otras, el constructor debe proceder a corregirlas, hasta contar con la aprobación del interventor.

En el momento de la aplicación, la capa granular sobre la cual se va a aplicar la emulsión no debe tener exceso de humedad; la humedad debe ser cercana a la óptima de compactación, e idealmente debe estar dos (2) puntos de porcentaje por debajo de la misma. Para tal fin, la humedad debe ser medida entre los cinco y los quince milímetros (5 mm – 15 mm) superiores de la capa, acorde con los métodos de ensayo aceptados.

La superficie que ha de recibir el riego de imprimación se debe limpiar cuidadosamente de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto que pueda ser perjudicial, utilizando el equipo de limpieza aprobado. En lugares inaccesibles a los equipos mecánicos, se permite el uso de escobas manuales.

La limpieza debe dejar a la vista las partículas gruesas sin soltarlas ni aflojarlas.

420.4.2 Determinación de la dosificación del ligante

La dosificación del ligante depende del tipo de producto bituminoso, del sistema de aplicación y de las características superficiales de la capa granular por imprimir.

El constructor debe establecer la dosificación definitiva del ligante, con base en los resultados de las aplicaciones iniciales (tramos de prueba) y debe ser, salvo instrucción en contrario, aquella que sea capaz de absorber la capa que se imprima, en un lapso de veinticuatro horas (24 h), logrando una penetración no inferior a cinco milímetros (5 mm). El procedimiento para determinar la profundidad de penetración debe ser fijado de común acuerdo con el interventor. En climas fríos o húmedos, el lapso para garantizar la penetración indicada puede ser hasta de cuarenta y ocho horas (48 h). En consecuencia, los tiempos finales para garantizar la penetración requerida, deben ser definidos según las condiciones propias del proyecto.

Esta dosificación debe contar con la aprobación del interventor.

Como guía, las cantidades de producto bituminoso por aplicar pueden estar entre los siguientes valores, para una concentración del sesenta por ciento (60 %):

- Aplicación por riego de emulsión o asfalto líquido: 0,85 L/m² – 2,25 L/m².
- La cantidad de ligante residual no debe ser inferior a quinientos gramos por metro cuadrado (500 g/m²).

Se aclara que, si bien es cierto, para una CRL-57, se indica una concentración aproximada de cuarenta por ciento (40 %), su dosificación debe garantizar la cantidad mínima de asfalto residual de quinientos gramos por metro cuadrado (500 g/m²).

420.4.3 Aplicación del ligante bituminoso

La superficie debe ser humedecida mediante un rociado ligero previamente al riego de imprimación, con el fin de retrasar el rompimiento y mejorar la absorción. Este humedecimiento no debe ser excesivo. Los vacíos entre partículas no deben quedar llenos de agua.

La aplicación del ligante se debe hacer de manera suave y uniforme. Se deben evitar los traslajos en las juntas transversales que generan una dosificación excesiva de imprimante, para lo cual se deben colocar tiras de papel u otro material adecuado en las zonas de iniciación o terminación del trabajo, de manera que el riego comience y termine sobre estas.

La temperatura de aplicación debe ser tal, que la viscosidad del producto asfáltico se encuentre entre cinco y veinte segundos Saybolt-Furol (5 sSF – 20 sSF). Se debe especificar el rango de temperaturas correspondientes, según los ensayos de calidad efectuados por el proveedor de la emulsión y suministrados al inicio de las labores.

Antes de iniciar cada jornada de trabajo, se debe verificar la uniformidad del riego, y, de ser necesario, se debe ajustar la altura del carro tanque irrigador, de tal forma que la base del abanico que se forma al salir el material por

una boquilla cubra hasta la mitad o las dos terceras partes de la base del abanico contiguo (cubrimiento doble o triple). Si fuere necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al término de la jornada.

En las zonas donde se presenten insuficiencias o excesos de material bituminoso, el constructor debe corregir la anomalía mediante la adición de ligante o agregado de protección, respectivamente, según la indicación del interventor y hasta contar con su aprobación, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

En los casos en que, por las condiciones de la obra, se deba efectuar el riego por franjas, debe existir una pequeña superposición de dicho riego en toda la junta longitudinal.

No se permite transitar sobre la superficie imprimada ni colocar capas de rodadura, base asfáltica o tratamientos, hasta que lo autorice el interventor, quien se debe basar en los tiempos mínimos requeridos para garantizar la penetración, la eliminación de agua y el cumplimiento de la dosificación establecida según el asfalto residual.

El constructor debe proteger adecuadamente los elementos susceptibles de ser manchados por el ligante tales como sardineles, árboles, vallas y similares antes de aplicar el riego.

420.4.4 Determinación de la dosificación del agregado de protección

La dosificación del agregado de protección debe ser la mínima necesaria para absorber los excesos de ligante o para garantizar la protección

de la imprimación, cuando la capa imprimada deba soportar la acción del tránsito automotor. En ningún caso, la cantidad de agregado debe exceder de trece coma seis kilogramos por metro cuadrado (13,6 kg/m²) o el equivalente a seis litros por metro cuadrado (6 L/m²). La dosificación definitiva del agregado de protección se debe establecer como resultado de la aplicación de las pruebas iniciales realizadas en la obra.

420.4.5 Extensión del agregado de protección

La extensión eventual del agregado de protección se debe realizar por instrucción del interventor, cuando sea necesario permitir la circulación del tránsito automotor sobre la imprimación o donde se advierta que parte de ella no ha sido absorbida veinticuatro horas (24 h) después de aplicado el ligante.

El agregado se debe extender con el equipo aprobado y, en el momento de la aplicación, su humedad no puede exceder de cuatro por ciento (4 %).

Se debe evitar el contacto de las ruedas del distribuidor del agregado con la imprimación sin cubrir. En caso de extender el agregado sobre una franja imprimada sin que lo hubiera sido la adyacente, se debe dejar sin cubrir una zona de aquella de unos quince a veinte centímetros (15 cm – 20 cm), junto a la zona que se encuentra sin imprimir.

420.4.6 Control del tránsito

Se debe prohibir todo tipo de tránsito sobre la superficie imprimada, mientras no se haya absorbido todo el ligante o, en caso de que

se haya extendido el agregado de protección, dentro de las cuatro horas (4 h) siguientes a la aplicación de este. Una vez permitida la circulación, la velocidad de los vehículos no debe exceder de treinta kilómetros por hora (30 km/h).

420.4.7 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la aplicación de riegos de imprimación cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra. Tampoco se deben aplicar riegos cuando la velocidad del viento impida que la aplicación de material asfáltico sea uniforme.

La aplicación del riego de imprimación debe estar coordinada con la puesta en obra de la capa superpuesta a este, de manera que el ligante no haya perdido su efectividad como elemento de unión. Cuando el interventor lo estime necesario, se debe aplicar otro riego de imprimación, sin costo adicional para INVÍAS, si la pérdida de efectividad de la imprimación anterior es imputable al constructor.

Los trabajos de aplicación del riego de imprimación se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para

completar el trabajo en el tiempo especificado, por lo cual debe operar únicamente durante las horas de luz solar.

420.4.8 Reparaciones

Todo daño de la superficie imprimada atribuible a descuido, falta de previsión o negligencia del constructor, debe ser reparado por este, sin costo adicional para INVÍAS y hasta ser aprobado por el interventor.

420.4.9 Manejo ambiental

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

420.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

420.5.1 Controles

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

420.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

420.5.2.1 Calidad del producto asfáltico

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante de la emulsión asfáltica o del asfalto líquido, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en los artículos 411 o 416 (Suministro de emulsión asfáltica catiónica y Suministro de asfalto líquido para riegos de imprimación, respectivamente), dependiendo

de si el producto asfáltico es una emulsión o un asfalto líquido.

El interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica o asfalto líquido que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante.

Dicha constancia no debe reemplazar, en ningún caso, a la ejecución de ensayos de comprobación, ni implica necesariamente la aceptación final de la entrega.

Se deben efectuar las verificaciones exigidas en el numeral 411.5.2 del artículo 411 a las muestras representativas de las diversas entregas, si se trata de una emulsión asfáltica o en el numeral 416.5.2 del artículo 416, si es un asfalto líquido. En todos los casos, el interventor debe guardar una muestra para ensayos ulteriores de contraste, por si se presentan dudas o desacuerdos entre las partes sobre los resultados iniciales.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tabla 411 — 1 del artículo 411, o en la Tabla 416 —1 del artículo 416, según se trate de una emulsión asfáltica o un asfalto líquido, respectivamente.

420.5.2.2 Calidad del agregado de protección

Rige lo indicado en el numeral 432.5.2.2 del artículo 432.

Adicionalmente, el constructor es responsable de solicitar al proveedor los datos de procedencia del material, entre los que se registran, como mínimo: ubicación del lugar de extracción, fuente, roca de origen, certificado de calidad del material que incluyan

ensayos mínimos de limpieza y granulometría, identificación del vehículo que transporta, así como fecha y hora de recepción.

420.5.2.3 Dosificación

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada imprimada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de calzada imprimada.
- La superficie imprimada en un día de trabajo.

La dosificación del asfalto se puede comprobar al verificar el volumen del producto dentro del carrotanque distribuidor antes y después de su aplicación, mediante la norma de ensayo INV E-818. También se puede comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas u hojas de papel resistente, colocadas durante la aplicación del ligante en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

La dosificación del agregado de protección, cuando su utilización sea ordenada por el interventor, se debe comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas, según la norma de ensayo INV E-819, en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

Las tasas medias de aplicación de ligante residual (*TML*) y de agregados (*TMA*) por lote, no pueden variar en más de quince por ciento (15 %) de las autorizadas por el interventor (*TEL* y *TEA*).

$$0,85 \text{ TEL} \leq \text{TML} \leq 1,15 \text{ TEL} \quad [420.1]$$

$$0,85 \text{ TEA} \leq \text{TMA} \leq 1,15 \text{ TEA} \quad [420.2]$$

El interventor se debe abstener de aceptar lotes imprimados donde la dosificación media de ligante o agregados esté por fuera del rango especificado. Tampoco se debe aceptar un lote donde más de un punto de ensayo presente un resultado por fuera del límite citado.

El interventor debe determinar las medidas por adoptar cuando se presenten estos incumplimientos. El constructor debe ejecutar las medidas correctivas sin costo adicional para INVÍAS.

420.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.6.1.

420.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.7.2.

No debe haber pago separado por el suministro y la extensión del agregado de protección.

420.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
420.1	Riego de imprimación con emulsión asfáltica CRL-40	Metro cuadrado (m ²)
420.2	Riego de imprimación con emulsión asfáltica CRL-57	Metro cuadrado (m ²)
420.3	Riego de imprimación con asfalto líquido MC 30	Metro cuadrado (m ²)

Riego de liga

Artículo 421 – 22

421.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, el eventual calentamiento y la aplicación uniforme de un ligante asfáltico sobre losas de concreto o sobre una capa bituminosa, previamente a la extensión de otra capa bituminosa, que no sea un tratamiento superficial, un sello de arena-asfalto o una lechada asfáltica, con el objeto de lograr adherencia óptima entre las capas involucradas.

421.2 Materiales

421.2.1 Material bituminoso

Los documentos del proyecto deben indicar cuál de los materiales bituminosos indicados en la Tabla 421 – 1 debe ser utilizado para el riego de liga.

Tabla 421 – 1. Materiales bituminosos para riego de liga

Tipo de material	Denominación	Requisitos
Emulsión asfáltica	CRR-60 o CRR-65	Artículo 411
Emulsión asfáltica modificada con polímeros	CRR-60m o CRR- 65m	Artículo 415

Nota: en aquellos casos en los que alguna de las capas que se va a ligar contenga ligantes modificados, la emulsión que se va a emplear en el riego de liga debe ser del tipo modificada con polímeros.

421.3 Equipo

Además de lo que se indica a continuación, rige todo lo descrito en el numeral 400.3 del artículo 400.

Para los trabajos de riego de liga se requieren elementos mecánicos de limpieza, carrotaques irrigadores de asfalto y, eventualmente, sistemas de aplicación del riego, incorporados a los de extensión de las mezclas asfálticas.

El equipo para la limpieza previa de la superficie donde se va a aplicar el riego de liga, debe estar constituido por una barredora mecánica de tipo rotatorio y/o una sopladora mecánica, ambas autopropulsadas o arrastradas por tractor, equipos que se pueden utilizar siempre que las autoridades ambientales autoricen su empleo. Como equipo adicional, se pueden utilizar compresores, escobas, y demás implementos que el interventor autorice y que cumplan las disposiciones ambientales vigentes.

El carrotanque irrigador debe cumplir las exigencias mínimas que garanticen la aplicación uniforme y constante del producto asfáltico, a la temperatura apropiada, sin que lo afecte la carga, la pendiente de la vía o la dirección del vehículo. Sus dispositivos de irrigación deben proporcionar una distribución transversal adecuada del ligante. El vehículo debe estar provisto de un velocímetro calibrado en metros por segundo (m/s), o pies por segundo (pie/s), visible al conductor, para mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme del asfalto en sentido longitudinal.

El carrotanque debe aplicar el producto asfáltico a presión y para ello debe disponer de una bomba de impulsión, accionada por motor y provista de un indicador de presión. También, debe estar provisto de un termómetro para el ligante, cuyo elemento sensible no puede encontrarse cerca de un elemento calentador y debe estar calibrado. Previo al inicio de las labores, el interventor debe verificar la calibración del equipo o debe requerir que el constructor presente la documentación que certifique dicha calibración, en cuyo caso la misma no puede ser superior a un año.

Cuando el riego de liga se aplique previamente a la extensión de una mezcla asfáltica discontinua en caliente o una mezcla drenante, es deseable que el sistema de aplicación del riego se encuentre incorporado al de extensión de la mezcla asfáltica, de tal manera que se garantice una dosificación continua y uniforme de ambos.

Se debe usar una caldera regadora portátil, con sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carrotanque con una

boquilla de expansión que permita un riego uniforme en algunas aplicaciones que autorice el interventor y para áreas inaccesibles al equipo irrigador y para retoques y aplicaciones mínimas.

Por ningún motivo se debe permitir la aplicación del riego de liga con regaderas, recipientes perforados, cepillos o cualquier otro dispositivo de aplicación manual por gravedad, que no garantice una aplicación completamente homogénea del riego de liga sobre la superficie por tratar.

421.4 Ejecución de los trabajos

421.4.1 Preparación de la superficie existente

La superficie sobre la cual se va a aplicar el riego de liga debe cumplir todos los requisitos de calidad y uniformidad exigidos, en condiciones para el recibo de los trabajos establecidos en los artículos 440, Mezclas asfálticas en frío (densa y abierta), 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico), 451, Mezcla abierta en caliente, y 453, Mezcla drenante, según corresponda, para que pueda recibir la capa asfáltica según lo contemplen los documentos del proyecto. De no ser así, el constructor debe realizar todas las correcciones previas que le indique el interventor.

La superficie se debe limpiar de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto que pueda ser perjudicial para el trabajo como grasa y/o combustible, empleando barredoras o sopladoras mecánicas, en sitios accesibles a ellas, si su uso está autorizado y escobas manuales donde aquellas no puedan acceder.

Cuando la superficie que va a recibir el riego de liga tenga un tiempo determinado en servicio, se deben eliminar los excesos de ligante que puedan existir previamente, mediante fresado, y se deben reparar todos los defectos que puedan impedir una correcta adherencia, tales como fisuras, baches, ahuellamientos, hundimientos y desprendimiento de agregados. Si la superficie es de concreto, se deben remover los excesos de sello de juntas y/o grietas.

Si la superficie está cubierta por un riego de curado, este se debe eliminar mediante barrido enérgico, seguido de soplo con aire comprimido u otro procedimiento aprobado por el interventor, una vez transcurrido el plazo de curado y antes de aplicar el riego de liga.

421.4.2 Determinación de la dosificación del ligante

El constructor debe establecer la dosificación definitiva del ligante, con base en los resultados de las pruebas iniciales en obra. Esta dosificación debe contar con la aprobación del interventor, para lo cual, se puede apoyar en los ensayos de adherencia entre capas UNE-EN 12697-48 SBT o NLT-382. En condiciones normales, las dosificaciones deben ser del orden de doscientos a trescientos gramos de ligante residual por metro cuadrado ($200 \text{ g/m}^2 - 300 \text{ g/m}^2$).

421.4.3 Aplicación del ligante bituminoso

La aplicación del ligante se debe efectuar con el equipo aprobado y a una temperatura tal, que dé lugar a una viscosidad Saybolt-Furol entre diez y cuarenta segundos (10 sSF – 40 sSF), de

manera uniforme, evitando la doble aplicación en las juntas transversales. Se debe especificar el rango de temperaturas de aplicación correspondientes, según los ensayos de calidad efectuados por el proveedor de la emulsión y suministrados al inicio de las labores. Con este propósito se deben colocar tiras de papel o de otro material adecuado bajo los difusores, en aquellas zonas de la superficie en donde empieza y termine el riego, con el fin de que este se inicie o culmine sobre ellas y los difusores funcionen con normalidad sobre la zona por tratar.

En los casos en que, por las condiciones de la obra, se deba efectuar el riego por franjas, debe existir una pequeña superposición de dicho riego a lo largo de la junta longitudinal.

El riego solo se debe aplicar cuando la superficie esté seca y con la anticipación necesaria a la colocación de la capa bituminosa, para que presente las condiciones de adherencia requeridas.

Antes de iniciar cada jornada de trabajo, se debe verificar la uniformidad del riego. Si fuere necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al final de la jornada.

En las zonas donde se presenten insuficiencias o excesos de ligante, el constructor debe corregir la anomalía, mediante la adición de ligante o arena limpia, según el caso, inmediatamente sea identificada la condición, sin costo para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) y hasta la aprobación del interventor.

El constructor debe proteger adecuadamente elementos tales como sardineles, árboles,

dispositivos de señalización, defensas y similares, susceptibles de ser manchados por el ligante, antes de aplicar el riego.

Se debe ajustar la altura del carro tanque irrigador, de tal forma que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla cubra hasta la mitad o dos terceras partes de la base del abanico contiguo (cubrimiento doble o triple).

421.4.4 Control del tránsito

No se debe permitir transitar por la superficie sobre la cual se ha aplicado el riego de liga, sin la autorización del interventor, hasta que se haya producido la rotura de la emulsión en toda la superficie aplicada y siempre que no se verifique qué parte del riego de liga se adhiere a los neumáticos de los equipos. Todos los defectos que se generen o deriven de un incorrecto control del tránsito, deben ser corregidos por el constructor, acorde a las instrucciones del interventor y sin costo para INVÍAS.

421.4.5 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión del riego de liga sobre superficies con agua libre, o encharcada 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). Tampoco se deben aplicar riegos cuando la velocidad del viento impida que la aplicación de material asfáltico sea uniforme.

La aplicación del riego de liga debe estar coordinada con la puesta en obra de la capa superpuesta a este, de manera que el ligante

no haya perdido su efectividad como elemento de unión, por lo que dicha actividad se debe ejecutar en un tiempo máximo de cuatro horas (4 h). Se debe esperar que el riego de liga cure completamente previo a la colocación de la capa siguiente. Cuando el interventor lo estime necesario, se debe aplicar otro riego de liga, cuyo costo lo debe asumir el constructor, si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable a este.

Los trabajos de aplicación del riego de liga se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo, en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y, por tanto, debe 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.

421.4.6 Reparaciones

Todo daño de la superficie tratada atribuible a descuido, falta de previsión o negligencia del constructor, debe ser reparado por este, sin costo alguno para INVÍAS, y hasta contar con la aprobación del interventor.

421.4.7 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.

421.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

421.5.1 Controles

Rige lo indicado en el numeral 400.5.1 del artículo 400.

421.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

421.5.2.1 Calidad del material bituminoso

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante de la emulsión, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, el tipo y la velocidad de rotura, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en los artículos 411, Suministro de emulsión asfáltica catiónica, o 415, Suministro de emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros, según sea el caso. El interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Dicha constancia no evita, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

Además, sobre muestras representativas de las diversas entregas, se deben efectuar las verificaciones exigidas en el numeral 411.5.2 del artículo 411 o en el numeral 415.5.2 del artículo 415, dependiendo del material bituminoso utilizado para el riego. En todos los

casos, el interventor debe guardar una muestra para ensayos ulteriores de contraste, por si hay dudas o desacuerdos entre las partes sobre los resultados iniciales.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tabla 411 — 1 del artículo 411 o en la Tabla 415 — 1 del artículo 415, respectivamente, según si la emulsión asfáltica utilizada es convencional o modificada con polímeros.

421.5.2.2 Dosificación

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada con aplicación de riego de liga.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de calzada con aplicación de riego de liga.
- La superficie regada en un día de trabajo.

La dosificación del asfalto se puede comprobar verificando el volumen del producto dentro del carrotanque distribuidor antes y después de su aplicación, mediante la norma de ensayo INV E-818. También se puede comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas u hojas de papel resistente colocadas durante la aplicación del ligante en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

La tasa media de aplicación de ligante residual (*TML*) por lote, no puede variar en más de quince por ciento (15 %) de la autorizada por el interventor (*TEL*).

$0,85 \text{ TEL} \leq \text{TML} \leq 1,15 \text{ TEL}$ [421.1]

El interventor se debe abstener de aceptar lotes regados, donde la dosificación media de ligante esté por fuera del rango especificado. Tampoco se debe aceptar un lote donde más de un punto de ensayo presente un resultado por fuera del límite citado. El interventor debe determinar las medidas por adoptar cuando se presenten estos incumplimientos.

El constructor debe asumir el costo de los materiales, equipos y operaciones requeridos para la corrección de defectos o excesos en el riego de liga.

421.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.6.1.

421.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.7.2.

421.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
421.1	Riego de liga con emulsión asfáltica CRR-60	Metro cuadrado (m ²)
421.2	Riego de liga con emulsión asfáltica CRR-65	Metro cuadrado (m ²)
421.3	Riego de liga con emulsión modificada con polímeros CRR-60m	Metro cuadrado (m ²)
421.4	Riego de liga con emulsión modificada con polímeros CRR-65m	Metro cuadrado (m ²)

Riego de curado

Artículo 422 – 22

422.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro, el transporte, el eventual calentamiento y la aplicación uniforme de un ligante bituminoso sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico, con el fin de brindar impermeabilidad a toda su superficie y evitar la evaporación de agua necesaria para el correcto fraguado. El trabajo incluye también, eventualmente, el suministro y la aplicación de un agregado fino para la protección de la superficie con el riego.

422.2 Materiales

422.2.1 Material bituminoso

El ligante bituminoso por emplear debe ser una emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida tipo CRR-60, la cual debe cumplir las condiciones indicadas en el artículo 411.

422.2.2 Agregado de protección

El agregado que eventualmente se deba colocar para la protección de la superficie con el riego es arena natural, arena de trituración o una mezcla de ambas, la cual debe estar exenta de terrones de arcilla u otros materiales objetables. Sus características deben ser las mismas que se exigen a los agregados para el sello de arena-asfalto, según el artículo 432; se exceptúan los requisitos de durabilidad, angularidad y adhesividad (método de Riedel-Weber).

422.3 Equipo

Rige todo lo descrito en el numeral 400.3 del artículo 400, así como lo que se indica en el numeral 420.3 del artículo 420, en relación con el equipo requerido para aplicar los riegos de imprimación.

422.4 Ejecución de los trabajos

422.4.1 Preparación de la superficie existente

Antes de autorizar el riego de curado, el interventor debe comprobar que la superficie sobre la cual se va a efectuar el riego cumpla todos los requisitos especificados, en cuanto a conformación, compactación y acabado de la capa a la cual corresponda.

En caso de que sobre la superficie por tratar se observen fallas o imperfecciones, tales como depresiones o baches aislados, el constructor debe corregir hasta ser aprobado por el interventor.

La superficie que va a recibir el riego de curado se debe limpiar cuidadosamente de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto que pueda ser perjudicial, mediante el equipo de limpieza aprobado. En lugares inaccesibles a los equipos mecánicos o donde su empleo no esté autorizado, se permite el uso de escobas manuales.

422.4.2 Determinación de la dosificación del ligante

El constructor debe establecer la dosificación definitiva del ligante como resultado de la aplicación de los riegos iniciales, la cual debe quedar definida por la cantidad que garantice la formación de una película continua, uniforme e impermeable de ligante. Esta dosificación debe contar con la aprobación del interventor. Dicha cantidad no debe ser inferior, en ningún caso, a cuatrocientos gramos por metro cuadrado (400 g/m²) de ligante residual.

422.4.3 Aplicación del ligante bituminoso

En el momento de aplicar el riego, que en ningún caso puede exceder las cinco horas (5 h) después de terminada la compactación de la capa por curar, la superficie de la capa tratada debe ser humedecida previamente, sin llegar a la saturación.

La aplicación del ligante se debe hacer de manera uniforme, tanto longitudinal como transversalmente, y se debe evitar la duplicación en las juntas transversales, para lo cual se deben colocar tiras de papel u otro material adecuado en las zonas de iniciación o terminación del trabajo, de manera que el riego comience y termine sobre estas.

La temperatura de aplicación debe ser tal, que la viscosidad del producto asfáltico se encuentre entre diez y cuarenta segundos Saybolt-Furol (10 sSF – 40 sSF). Se debe especificar el rango de temperaturas correspondientes, según los ensayos de calidad efectuados por el proveedor de la emulsión y suministrados al inicio de las labores.

Antes de iniciar cada jornada de trabajo, se debe verificar la uniformidad del riego. Si fuere necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al término de la jornada. Si fuere necesario, con el fin de garantizar un total y uniforme cubrimiento del riego, se debe ajustar la altura del carrotanque irrigador, de tal forma que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla cubra hasta la mitad o las dos terceras partes de la base del abanico contiguo (cubrimiento doble o triple).

En las zonas donde se presenten insuficiencias o excesos de material bituminoso, el constructor debe corregir la anomalía, mediante la adición de ligante o agregado de protección, respectivamente, según la indicación del interventor y hasta contar con su aprobación, sin costo alguno para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

En los casos en que, por las condiciones de la obra, se deba efectuar el riego por franjas, debe existir una pequeña superposición de este, a lo largo de la junta longitudinal.

No se debe permitir transitar sobre la superficie tratada con el riego, ni la colocación de capas de rodadura, base asfáltica o tratamientos, hasta que lo autorice el interventor quien, además, debe fijar el plazo de curado, para lo cual se considera como mínimo el tiempo establecido para el curado de la capa estabilizada.

El constructor debe proteger los elementos susceptibles de ser manchados por el ligante, tales como sardineles, árboles, vallas y similares, antes de aplicar el riego.

422.4.4 Determinación de la dosificación del agregado de protección

La dosificación del agregado de protección debe ser la mínima necesaria para garantizar la integridad del riego de curado, cuando este deba, por condiciones eventuales o de emergencia, soportar la acción del tránsito automotor después de su aplicación y cuando el interventor lo considere necesario. En ningún caso, la cantidad de agregado debe exceder de trece coma seis kilogramos por metro cuadrado (13,6 kg/m²) o seis litros por metro cuadrado (6 L/m²).

La dosificación definitiva del agregado de protección se debe establecer como resultado de la aplicación de las pruebas iniciales realizadas en la obra.

422.4.5 Extensión del agregado de protección

La extensión eventual del agregado de protección se debe realizar por instrucción del interventor. El agregado se debe extender con el equipo aprobado, inmediatamente después de la aplicación del ligante. Su humedad, en el momento de la extensión, no puede exceder de cuatro por ciento (4 %).

Se debe evitar el contacto de las ruedas del distribuidor del agregado con el riego de curado sin cubrir. En caso de extender el agregado sobre una franja regada sin que lo hubiera sido la adyacente, se debe dejar sin cubrir una zona de aquella de unos quince a veinte centímetros (15 cm – 20 cm), junto a la zona que se encuentra sin tratar.

422.4.6 Control del tránsito

Se debe prohibir todo tipo de tránsito sobre la superficie tratada con el riego de curado durante el lapso que determine el interventor, considerando como mínimo el tiempo establecido para el curado de la capa estabilizada y/o la presencia de agregado de protección. Una vez permitida la circulación, la velocidad de los vehículos no debe exceder de treinta kilómetros por hora (30 km/h).

422.4.7 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe permitir la aplicación de riegos de curado cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra. Tampoco se deben aplicar riegos cuando la velocidad del viento impida que la aplicación de material asfáltico sea uniforme.

Los trabajos de aplicación del riego de curado se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe 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.

422.4.8 Reparaciones

Todo daño en el riego de curado atribuible a descuido, falta de previsión o negligencia por parte del constructor, debe ser reparado por este, sin costo alguno para INVÍAS, según la indicación del interventor y hasta contar con su aprobación.

422.4.9 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.

422.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

422.5.1 Controles

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

422.5.2 Condiciones específicas para el recibo y las tolerancias

422.5.2.1 Calidad de la emulsión

A la llegada de cada carrotanque al sitio de los trabajos, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante de la emulsión, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, el tipo y la velocidad de rotura, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en la Tabla 411 – 1 del artículo 411. El interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica que no se encuentren respaldados por

la certificación del fabricante. Dicha constancia no evita, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

Además, sobre muestras representativas de las diversas entregas, se deben efectuar las verificaciones exigidas en el numeral 411.5.2 del artículo 411. En todos los casos, el interventor debe guardar una muestra para ensayos ulteriores de contraste, por si hay dudas o desacuerdos entre las partes sobre los resultados iniciales.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir tolerancia alguna sobre los límites establecidos en la Tabla 411 – 1 del artículo 411.

422.5.2.2 Calidad del agregado de protección

Rige lo indicado en el numeral 432.5.2.2 del artículo 432.

Adicionalmente, el constructor es responsable de solicitar al proveedor los datos de procedencia del material, entre los cuales se deben registrar como mínimo: ubicación del lugar de extracción, fuente, roca de origen, certificado de calidad del material que incluya ensayos mínimos de limpieza y granulometría, identificación del vehículo que transporta, así como fecha y hora de recepción.

422.5.2.3 Dosificación

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada con riego de curado.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de calzada con riego de curado.
- La superficie cubierta con el riego en un día de trabajo.

La dosificación del asfalto se puede comprobar verificando el volumen del producto dentro del carrotanque distribuidor antes y después de su aplicación, mediante la norma de ensayo INV E-818; también se puede comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas u hojas de papel resistente, colocadas durante la aplicación del ligante o la extensión del agregado en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

La dosificación del agregado de protección, cuando su utilización sea ordenada por el interventor, se debe comprobar mediante el pesaje de bandejas metálicas, según la norma de ensayo INV E-819, en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

Las tasas medias de aplicación de ligante residual (*TML*) y de agregados (*TMA*) por lote, no pueden variar en más de quince por ciento (15 %) de las autorizadas por el interventor (*TEL* y *TEA*).

$$0,85 \text{ TEL} \leq \text{TML} \leq 1,15 \text{ TEL} \quad [422.1]$$

$$0,85 \text{ TEA} \leq \text{TMA} \leq 1,15 \text{ TEA} \quad [422.2]$$

El interventor se debe abstener de aceptar lotes con riego de curado, donde la dosificación media de ligante o agregados esté por fuera del rango especificado. Tampoco se debe aceptar un lote donde más de un punto de ensayo presente un resultado por fuera del límite citado. El interventor debe determinar las medidas por adoptar cuando se presenten estos incumplimientos.

El constructor debe asumir el costo de los materiales, equipos y operaciones requeridos para corregir los defectos o los excesos en el riego de curado y/o en el agregado de protección.

422.6 Medida

No debe haber lugar a medida, para efecto de pago separado, del riego de curado que se aplique sobre una capa tratada con un conglomerante hidráulico.

422.7 Forma de pago

No debe haber pago separado por el riego de curado. Por tanto, todos los costos que impliquen el suministro de los materiales requeridos y la ejecución de los trabajos objeto del presente artículo, deben formar parte del precio unitario de la capa tratada con conglomerante hidráulico que se está protegiendo.

Tratamientos superficiales

Artículo 430 – 22

430.1 Descripción

Este trabajo consiste en la aplicación de sucesivas aplicaciones de material bituminoso sobre una superficie preparada, seguido por la extensión y la compactación de sendas capas de agregado pétreo, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas y las secciones indicados en los documentos del proyecto. Dichos trabajos solo se pueden ejecutar en vías, con niveles de tránsito NT1 y NT2.

De acuerdo con el número de aplicaciones de riegos de material bituminoso y agregado pétreo, estos reciben el nombre de simple (una aplicación) y doble (dos aplicaciones). Los

tratamientos superficiales simples se deben denotar - TSS y los tratamientos superficiales dobles - TSD.

Si los documentos del proyecto establecen la necesidad de colocar un sello de protección, este se debe construir de acuerdo con el artículo 432, Sello de arena-asfalto.

430.2 Materiales

430.2.1 Agregados pétreos

Los agregados pétreos deben cumplir los requisitos generales señalados en el numeral 400.2.1 del artículo 400, y los requisitos particulares de la Tabla 430 – 1.

Tabla 430 – 1. Requisitos de los agregados para tratamientos superficiales

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito	
		NT1	NT2
Dureza, agregado grueso (O)			
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	25 5	25 5
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	25
Coefficiente de pulimento acelerado, mínimo	E-232	45	45
Durabilidad (O)			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregado grueso, máximo (%)	E-220	18	18
Limpieza, agregado grueso (F)			
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0,5	0,5

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito	
		NT1	NT2
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)			
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	30	30
Caras fracturadas, mínimo (%): una cara / dos caras	E-227	75 / -	75 / 60
Adhesividad (O)			
Bandeja, mínimo (%)	E-740	80	80
Limpieza, gradación combinada (F)			
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-126	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%). (Nota)	E-133	50	50
Valor de azul de metileno, máximo (Nota)	E-235	10	10

Nota: el equivalente de arena debe ser el del agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. En caso de que no se cumpla el valor mínimo de equivalente de arena señalado, el agregado se acepta si su equivalente de arena es superior a cuarenta por ciento (40 %) y, simultáneamente, el valor de azul de metileno, determinado mediante la norma de ensayo INV E-235, es inferior a diez (10).

Los agregados deben presentar una gradación ajustada a alguna de las franjas indicadas en la Tabla 430 – 2.

La franja por utilizar debe corresponder a la establecida en los documentos del proyecto. Se pueden emplear otras franjas, si así lo

establecen las especificaciones particulares del proyecto.

El material que produce el constructor debe dar lugar a una curva 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.

Tabla 430 – 2. Gradaciones para tratamientos superficiales

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)							
	25,0	19,0	12,5	9,5	6,3	4,75	2,36	1,18
	1 Pulgada	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	1/4 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro 16
Pasa tamiz (%)								
TSD – 25	100	90 – 100	10 – 45	0 – 15	-	0 – 5	-	-
TSS – 19 / TSD – 19	-	100	90 – 100	20 – 55	0 – 15	-	0 – 5	-
TSS – 13 / TSD – 13	-	-	100	90 – 100	10 – 40	0 – 15	0 – 5	-
TSD – 10	-	-	-	100	90 – 100	20 – 55	0 – 15	0 – 5
Tolerancias en producción sobre la gradación definida en la fase de experimentación (±)	4 %						1 %	

Nota: el tipo de gradación con tamaño máximo de diecinueve milímetros (19 mm) y de trece milímetros (13 mm) aplica para tratamientos superficiales simples (TSS) y para tratamientos superficiales dobles (TSD).

El constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, debe 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 las presentes especificaciones.

430.2.2 Material bituminoso

Debe ser una emulsión asfáltica catiónica de rotura rápida del tipo CRR-65 o una emulsión modificada con polímeros del tipo CRR-65m, la cual debe cumplir los requisitos de calidad establecidos en los artículos 411 o 415, según corresponda.

El tipo de emulsión por aplicar debe ser el definido en los documentos del proyecto.

430.2.3 Aditivos mejoradores de adherencia

Cuando se requieran, se deben ajustar a lo descrito en el artículo 412.

430.3 Equipo

Se aplica lo que sea pertinente del numeral 400.3 del artículo 400.

Para la ejecución de los tratamientos superficiales se requiere básicamente equipo para la explotación, la elaboración y la clasificación de agregados, para la limpieza de la superficie, distribuidor autopropulsado del material bituminoso, esparcidor mecánico de agregado

pétreo, compactadores neumáticos y herramientas menores.

430.3.1 Equipo para la elaboración y la clasificación de agregados triturados

La planta de trituración debe estar provista de una trituradora primaria y una trituradora secundaria; debe incluir también una clasificadora y, de ser necesario, un equipo de lavado. Además, debe estar provista de los filtros necesarios para prevenir la contaminación ambiental.

430.3.2 Equipo para la aplicación del ligante bituminoso

Debe consistir en un carrotanque irrigador de las características descritas en el numeral 420.3.2 del artículo 420, Riego de imprimación.

Para áreas inaccesibles al carrotanque y para retoques y aplicaciones mínimas, se debe usar una caldera regadora portátil, con sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carrotanque con boquilla de expansión que permita un riego uniforme. Por ningún motivo, se debe permitir el empleo de regaderas u otros dispositivos de aplicación manual por gravedad.

430.3.3 Equipo para la extensión del agregado pétreo

Se pueden emplear esparcidoras autopropulsadas o extendedoras mecánicas acopladas a volquetas, que garanticen una adecuada y homogénea distribución del agregado pétreo sobre la superficie.

430.3.4 Equipo multidistribuidor de asfalto y agregado

En lugar del carrotanque irrigador y del equipo de extensión del agregado pétreo, descritos en los numerales 430.3.2 y 430.3.3, se puede emplear un equipo multidistribuidor, que permita la aplicación conjugada de la emulsión asfáltica y el agregado en una sola operación.

430.3.5 Equipo de compactación

Se deben emplear rodillos neumáticos de un peso superior a cinco toneladas (5 t), cuya presión de inflado de las llantas debe tener la aprobación del interventor, acorde con las recomendaciones establecidas por el fabricante del equipo y, además, la diferencia de presión entre ruedas no debe superar los cero coma cero trecientos cuarenta y cuatro megapascuales (0,0344 MPa) (5 psi). Todos los compactadores deben ser autopropulsados y estar dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas, durante la compactación, así como inversores de marcha suaves. Los elementos de limpieza empleados deben ser de eficiencia verificada, garantizando que no son perjudiciales para la mezcla ni para el ambiente; no se permite el uso de productos derivados de la destilación del petróleo.

430.3.6 Equipo de barrido

Se debe disponer de barredoras mecánicas de cepillo. En caso de que las autoridades ambientales no permitan su utilización, el interventor debe determinar y/o aprobar el equipo por utilizar. Como alternativa, se pueden utilizar compresores y escobas, y demás implementos que el interventor apruebe, siempre que cumplan las disposiciones ambientales vigentes, especialmente en lo que refiere al manejo de material particulado, y protección del ser humano.

430.4 Ejecución de los trabajos

430.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

430.4.2 Dosificación del tratamiento

Salvo justificación en contrario, la dosificación por utilizar se debe encontrar dentro de los límites indicados en la Tabla 430 — 3.

De acuerdo con las características de la superficie sobre la cual se va a aplicar el tratamiento, las condiciones climáticas del lugar y el tránsito previsto, los documentos del proyecto deben indicar la dosificación o diseño preliminar del tratamiento por algún método empírico reconocido, cuyos resultados sirvan como base para las primeras pruebas.

Tabla 430 — 3. Dosificación para tratamientos superficiales

Tipo	Aplicación	Tipo de gradación	Dosificación (L/m ²)	
			Agregados	Ligante residual
1	Única	TSS-19	8 – 10	0,9 – 1,3
2	Única	TSS-13	6 – 8	0,7 – 1,1
3	Primera	TSD-25	12 – 14	1,3 – 1,8
	Segunda	TSD-13	6 – 8	0,8 – 1,2
4	Primera	TSD-19	8 – 10	0,9 – 1,3
	Segunda	TSD-10	5 – 7	0,7 – 1,0

La dosificación definitiva del tratamiento superficial, incluidas las adiciones que eventualmente se requieran para mejorar la adherencia entre el ligante y el agregado, debe ser establecida por el constructor y aprobada por el interventor, de acuerdo con las características de la obra y a la vista de los resultados de la fase de experimentación y previo el cumplimiento de los requisitos indicados en el numeral 400.4.2 del artículo 400.

Esta dosificación se debe verificar y ajustar en caso de que la gradación durante producción no se ajuste a la definida en la fase de experimentación con las tolerancias que se indican en la Tabla 430 – 2.

El interventor puede autorizar que la primera aplicación del ligante se haga con la cantidad mínima necesaria para sujetar el agregado de cobertura correspondiente. En la segunda aplicación, debe completar la dosificación exigida.

430.4.3 Preparación de la superficie existente

La construcción del tratamiento no se debe comenzar hasta que se compruebe que, la

superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias establecidas en la especificación respectiva se deben corregir, de acuerdo con lo establecido en el artículo correspondiente a la unidad de obra de que se trate.

Si la construcción del tratamiento requiere una imprimación previa de la superficie, tal construcción se debe realizar de acuerdo con lo establecido en el artículo 420. No se debe permitir la construcción del tratamiento, mientras la imprimación no haya completado su curado y, en ningún caso, antes de veinticuatro horas (24 h), transcurridas desde su aplicación.

En el momento de aplicar el ligante bituminoso, la superficie debe estar seca y libre de cualquier sustancia objetable a criterio del interventor según el presente artículo y lo que resulte aplicable del artículo 400.

430.4.4 Fase de experimentación

Rige lo establecido en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

430.4.5 Primera aplicación

430.4.5.1 Aplicación del ligante bituminoso

Antes de la aplicación del ligante, se debe marcar una línea guía en la calzada para controlar el paso del distribuidor y se debe señalar la longitud de la carretera que va a quedar cubierta, de acuerdo con la cantidad de emulsión asfáltica disponible en el distribuidor y la capacidad de extensión del esparcidor de agregados pétreos.

La dosificación elegida del ligante se debe aplicar de manera uniforme, a una temperatura que corresponda a una viscosidad Saybolt-Furol comprendida entre veinticinco y cien segundos (25 sSF – 100 sSF), evitando así duplicaciones de dotación en las juntas transversales de trabajo, para lo cual se deben colocar fajas de papel grueso, de ancho no menor de un metro (1,0 m), bajo los difusores, en aquellas zonas donde comience o se interrumpa la aplicación. El constructor debe especificar el rango de temperaturas correspondientes a las viscosidades enunciadas, según los ensayos de calidad efectuados por el proveedor de la emulsión y suministrados al inicio de las labores.

Al comienzo de cada jornada de trabajo se debe verificar la uniformidad del riego y, de ser requerido, se debe ajustar la altura del carrotanque irrigador, de tal forma que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla cubra hasta la mitad o las dos terceras partes de la base del abanico contiguo (cubrimiento doble o triple). Si fuere necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba

y la barra de distribución se deben limpiar al final de la jornada.

Durante la aplicación del ligante, se deben proteger todos los elementos que señale el interventor, tales como bordillos, vallas o árboles. En trabajos de prueba o de limpieza de los equipos, no se debe permitir descargar el material bituminoso en zanjas o zonas próximas a la carretera.

No se debe permitir ningún tipo de tránsito sobre el ligante aplicado.

430.4.5.2 Extensión del agregado pétreo

La extensión del agregado se debe realizar de manera uniforme, en la cantidad aprobada por el interventor e inmediatamente después de la aplicación del ligante bituminoso. La distribución del agregado se debe hacer de manera que se evite el tránsito del esparcidor sobre la capa del ligante sin cubrir. En el instante de la extensión, la humedad del agregado debe ser tal, que no perjudique su adhesividad con el ligante bituminoso empleado.

Cuando el material bituminoso se aplique por franjas, el agregado se debe esparcir de forma que quede sin cubrir una banda de quince a veinte centímetros (15 cm – 20 cm) de la zona tratada, aleadaña a la zona que aún no ha recibido el riego, con el fin de completar en dicha banda la dosificación prevista del ligante al efectuar su aplicación en la franja adyacente.

Los excesos o las deficiencias de agregado pétreo se deben corregir inmediatamente, por medio de remoción o adición de agregado, hasta lograr una textura uniforme.

430.4.5.3 Aplicación conjugada del ligante y los agregados pétreos

Si se dispone de un equipo multidistribuidor, la aplicación del ligante bituminoso y la del agregado pétreo se deben realizar en una sola operación. En esta circunstancia, resulta aplicable lo expuesto en el numeral 430.4.5, en relación con la aplicación del ligante, salvo su último párrafo, dada la imposibilidad de que haya tránsito vehicular sobre el ligante recién aplicado.

En relación con el agregado pétreo, este se debe extender utilizando el mismo equipo, de manera uniforme, en la cantidad indicada en los documentos del proyecto o en la cantidad aprobada por el interventor e inmediatamente después de la aplicación del ligante bituminoso. En el instante de la extensión, la humedad del agregado debe ser tal, que no perjudique su adhesividad con el ligante bituminoso empleado.

Cuando el material bituminoso se aplique por franjas, el agregado se debe esparcir de forma que quede sin cubrir una banda de quince a veinte centímetros (15 cm – 20 cm) de la zona tratada, aledaña a la zona que aún no ha recibido el riego, con el fin de completar en dicha banda la dosificación prevista del ligante al efectuar su aplicación en la franja adyacente.

430.4.5.4 Compactación

Las operaciones de compactación se deben realizar con el compactador neumático y deben comenzar inmediatamente después de la aplicación del agregado pétreo. En zonas en tangente, la compactación se debe iniciar por el borde exterior y avanzando hacia el

centro, traslapando cada pasada con la anterior. En curvas, se debe iniciar desde el borde inferior hacia el borde superior, traslapando cada recorrido con el anterior.

La compactación debe continuar hasta obtener una superficie lisa y estable, en un tiempo máximo de treinta minutos (30 min), contado desde el inicio de la extensión del agregado pétreo.

Para los casos en que la capa corresponda a la rodadura, se deben garantizar al menos tres (3) pasadas, a una velocidad lo suficientemente lenta para prevenir que se desplace o se levante el agregado y evitar así el deterioro de la capa o trituración, por exceso de pasadas o por uso de compactadores muy pesados. Cuando la aplicación corresponda a la primera capa de un tratamiento superficial doble, las operaciones de compactación se deben limitar a dos (2) pasadas.

Se debe impedir cualquier tipo de tránsito automotor sobre esta superficie.

430.4.6 Segunda aplicación

430.4.6.1 Ligante bituminoso

La segunda aplicación del ligante se debe realizar en la cantidad y a la temperatura indicada en los documentos del proyecto o por el interventor y, si las condiciones meteorológicas lo permiten, dentro de las veinticuatro horas (24 h) siguientes a la construcción de la primera capa.

Esta segunda aplicación se debe hacer de la misma forma que la primera. Si en el primer riego se utiliza el criterio de la cantidad

mínima necesaria mencionado en el numeral 430.4.2, la cantidad total dosificada se debe completar en el segundo riego.

El ancho de franja en que se aplique este riego debe variar, en relación con el empleado en el primero en, aproximadamente, veinte centímetros (20 cm) en más o en menos, con el fin de evitar que la junta longitudinal de construcción se superponga con la de la primera capa, impidiendo obtener una superficie uniforme.

430.4.6.2 Agregado pétreo

La extensión se debe realizar con el agregado pétreo seleccionado para la construcción de esta capa y en la cantidad aprobada por el interventor, de la misma forma que la primera e inmediatamente después de la segunda aplicación del material bituminoso.

430.4.6.3 Aplicación conjugada del ligante y los agregados pétreos

Cuando se emplee el equipo multidistribuidor, el ligante y el agregado para la segunda capa se deben aplicar de igual forma que para la primera, con las dosificaciones de los materiales y la gradación de los agregados, aprobadas previamente por el interventor.

El ancho de franja en que se aplique este riego debe variar, en relación con el empleado en el primero en, aproximadamente, veinte centímetros (20 cm) en más o en menos, con el fin de evitar que la junta longitudinal de construcción se superponga con la de la primera capa, impidiendo obtener una superficie uniforme.

430.4.6.4 Compactación final

Inmediatamente después de la segunda extensión del agregado, se debe proceder a su compactación con el rodillo neumático, en sentido longitudinal, iniciando por el borde exterior y avanzando hacia el centro, trasladando cada pasada con la anterior. En curvas, se debe iniciar desde el borde inferior hacia el borde superior, trasladando cada recorrido con el anterior.

La compactación se debe continuar hasta obtener una superficie lisa y estable en un lapso no mayor de treinta minutos (30 min), contados desde el instante de ser iniciada la extensión del agregado de la segunda capa. Se deben garantizar al menos tres (3) pasadas, a una velocidad lo suficientemente lenta para prevenir que se desplace o levante el agregado y evitando el deterioro de la capa o trituración de este por exceso de pasadas o por el uso de compactadores muy pesados.

430.4.7 Acabado, limpieza y eliminación de sobrantes

Una vez terminada la compactación y transcurrido el plazo necesario para que el ligante utilizado alcance la cohesión suficiente para resistir la acción normal del tránsito vehicular, se debe barrer de manera enérgica la superficie del tratamiento, para eliminar todo exceso de agregados que haya quedado suelto, operación que debe continuar aún después de que el tramo con el tratamiento se haya abierto al tránsito, con frecuencia diaria, durante los siguientes cuatro días (4 d) posteriores a su construcción.

A los quince días (15 d) siguientes a la apertura del tratamiento al tránsito, se debe realizar un barrido definitivo del agregado pétreo que no esté adherido. El constructor debe recoger el material sobrante de esta operación y lo debe disponer en los sitios que autorice el interventor.

430.4.8 Apertura al tránsito

Siempre que sea posible, se debe evitar todo tipo de tránsito sobre la capa recién ejecutada durante las veinticuatro horas (24 h) siguientes a su terminación. Si ello no es factible, se deben tomar medidas para que los vehículos no circulen a una velocidad superior a treinta kilómetros por hora (30 km/h).

430.4.9 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe permitir la ejecución del tratamiento cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra. Tampoco se debe permitir la aplicación de ligantes bituminosos cuando la velocidad del viento impida que la aplicación de material asfáltico sea uniforme.

Cuando no se utilice equipo multidistribuidor, la extensión del agregado pétreo se debe realizar antes de que haya transcurrido, desde la aplicación del ligante, el plazo máximo aprobado por el interventor. En todos los casos, la compactación debe quedar concluida antes de treinta minutos (30 min) de haber sido extendido el agregado.

Los trabajos de construcción del tratamiento superficial se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se

requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe 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.

430.4.10 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.

430.4.11 Reparaciones

Todos los defectos que se presenten durante la ejecución del tratamiento, tales como juntas irregulares, defectos transversales en la aplicación del ligante o el agregado, irregularidades del alineamiento, etc., así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deben correr a cargo del constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación, sin costo alguno para INVÍAS.

430.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

430.5.1 Controles

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

430.5.2 Condiciones específicas para el recibo y las tolerancias

430.5.2.1 Calidad de la emulsión

Los requisitos de calidad, los controles y los criterios de aceptación para la emulsión son los establecidos en los artículos 411 y 415, según corresponda.

430.5.2.2 Calidad de los agregados

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 430 — 1.

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

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad de los agregados indicadas en la Tabla 430 — 4.

La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada y debe ajustarse a la definida en la fase de experimentación,

con las tolerancias que se indican en la Tabla 430 — 2, pero sin permitir que la curva se salga de los límites de la franja. Si la curva granulométrica de algún ensayo no cumple la anterior indicación, pero no se sale de los límites de la franja, es necesario verificar y, si es el caso, ajustar la dosificación del tratamiento superficial.

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 430 — 4, siempre que este 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 la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

430.5.2.3 Calidad del producto terminado

430.5.2.3.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios.

- Quinientos metros (500 m) de tratamiento construido.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de tratamiento construido.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Tabla 430 — 4. Ensayos de verificación sobre los agregados para tratamientos superficiales simples

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Coefficiente de pulimiento acelerado	E-232	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza (F)		
Contenido de impurezas	E-237	1 por jornada
Geometría de las partículas (F)		
Índices de alargamiento y aplanamiento	E-230	1 por semana
Porcentaje de caras fracturadas	E-227	1 por semana

En dicho lote, se deben efectuar los controles indicados a continuación.

430.5.2.3.2 Aspectos generales

El tratamiento terminado debe presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantas y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la zona pavimentada no puede ser, en ningún punto, inferior a la señalada en los documentos del proyecto.

Así mismo, el acabado de la capa de rodadura no debe presentar deformaciones, afloramiento del material asfáltico o pérdida sensible de agregado pétreo, o cualquier defecto que afecte la calidad y el buen comportamiento del tratamiento.

430.5.2.3.3 Tasa de aplicación

Las dosificaciones del asfalto y del agregado se deben comprobar en cada capa, mediante las normas INV E-818 e INV E-819 respectivamente, en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro.

Las tasas medias de aplicación de ligante residual (*TML*) y de agregados (*TMA*) por lote, no pueden variar en más de diez por ciento (10 %) de las autorizadas por el interventor como resultado de la fase de experimentación (*TEL* y *TEA*).

$$0,9 \text{ TEL} \leq \text{TML} \leq 1,1 \text{ TEL} \quad [430.1]$$

$$0,9 \text{ TEA} \leq \text{TMA} \leq 1,1 \text{ TEA} \quad [430.2]$$

Así mismo, ningún ensayo individual puede presentar un resultado que varíe en más de quince por ciento (15 %) de la tasa de aplicación de ligante o agregados autorizada por el interventor (*TEL* o *TEA*).

Si alguno de los anteriores requisitos se incumple, se debe rechazar el lote. En caso de rechazo, el tratamiento superficial simple correspondiente al lote controlado debe ser levantado o retirado mediante equipos apropiados y repuesto hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. En caso de rechazo de un lote correspondiente a la segunda capa, todo el espesor de tratamiento superficial doble del lote controlado debe ser levantado o retirado mediante equipos apropiados y repuesto hasta ser aprobado por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

En ambos casos, el material retirado es de propiedad del constructor.

430.5.2.3.4 Textura

Sobre la última capa de tratamiento, por lote se deben efectuar, como mínimo, tres (3) determinaciones de la profundidad de textura con el círculo de arena (INV E-791), y en sitios elegidos al azar, según la norma de ensayo INV E-730. Para tratamientos superficiales simples, el promedio de las lecturas debe ser, cuando menos, igual a uno coma dos milímetros (1,2 mm), sin que ninguno de los valores individuales sea inferior a un milímetro (1,0 mm). Para tratamientos superficiales dobles, el promedio de las lecturas debe ser, cuando menos, igual a un milímetro (1,0 mm), sin que ninguno de los valores individuales sea inferior a cero coma ocho milímetros (0,8 mm).

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual se debe levantar o retirar mediante equipos apropiados y reponer hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado es de propiedad del constructor.

El requisito de textura no es aplicable cuando el tratamiento superficial se construye para la protección de bermas.

430.5.2.3.5 Resistencia al deslizamiento

Antes de la puesta en servicio del tratamiento superficial, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento. Debido a que esta se encuentra relacionada directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que el interventor debe ubicarlos en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular, en condición de superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, en acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote. Ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 430 – 5, de acuerdo con el tránsito de diseño y el tipo de sección.

En caso de que se presenten valores menores, se deben realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser levantada o retirada mediante

equipos apropiados y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado debe ser propiedad del constructor.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda

parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 430 – 5 para el péndulo británico.

Tabla 430 – 5. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Tipo de sección	Coeficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo	
	NT1	NT2
Secciones críticas: - Glorietas - Intersecciones - Zonas de frenado frecuente - Curvas con radio de curvatura < 200 m - Tramos con pendiente > 5 % y longitud > 100 m	50	55
Otras secciones	45	50

430.5.2.3.6 Regularidad superficial

Debido a sus características y limitado espesor, los tratamientos superficiales que sirven como capa de rodadura no pueden corregir defectos asociados con la falta de regularidad del perfil longitudinal de la calzada. Por tal razón, no se debe permitir la colocación del tratamiento, mientras no se garantice que la superficie de la capa sobre la cual se va a construir cumpla los requisitos que se exigen sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la especificación general o particular referente a dicha capa.

430.5.2.4 Modificación eventual de la extensión del lote

Si el interventor considera que las deficiencias de calidad del producto terminado no

son generalizadas en todo el lote definido según los criterios establecidos en el numeral 430.5.2.3.1 de esta especificación, sino que se restringen a la superficie tratada por una sola carga del equipo empleado en la aplicación del ligante o del agregado, puede modificar la extensión del lote, limitándola al área construida con dicha carga.

430.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400, en particular lo indicado en el numeral 400.6.1.

430.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, en particular lo indicado en el numeral 400.7.2.

430.8 Ítem de pago

Item	Descripción	Unidad
430.1	Tratamiento superficial simple con emulsión CRR-65	Metro cuadrado (m ²)
430.2	Tratamiento superficial simple con emulsión CRR-65m	Metro cuadrado (m ²)
430.3	Tratamiento superficial doble con emulsión CRR-65	Metro cuadrado (m ²)
430.4	Tratamiento superficial doble con emulsión CRR-65m	Metro cuadrado (m ²)

Sello de arena-asfalto

Artículo 432 – 22

432.1 Descripción

Este trabajo consiste en la aplicación de un material bituminoso sobre la superficie de un pavimento existente, seguida por la extensión y la compactación de una delgada capa de arena, de acuerdo con lo establecido en esta especificación, los documentos del proyecto y las instrucciones del interventor, con el fin de sellar la superficie y mejorar temporalmente la fricción superficial. Dichos trabajos solo se pueden ejecutar en vías con niveles de tránsito NT1 y NT2.

432.2 Materiales

432.2.1 Agregados pétreos

Deben estar constituidos por agregado fino que cumpla los requisitos generales señalados en el numeral 400.2.1 del artículo 400, y las exigencias particulares de calidad establecidas en la Tabla 432 – 1.

Tabla 432 – 1. Requisitos de los agregados para sellos de arena-asfalto

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito	
		NT1	NT2
Durabilidad (O)			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)	E-220	18	
Limpieza (F)			
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	NP	
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	50	
Valor de azul de metileno (si es aplicable), máximo	E-235	10	
Geometría de las partículas (F)			
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	45	
Adhesividad (O)			
Riedel-Weber, mínimo	E-774	4	

Su gradación se debe encontrar dentro de los límites indicados en la Tabla 432 – 2.

Tabla 432 – 2. Gradación para sellos de arena-asfalto

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)						
	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150
	3/8 Pulgada	Nro.4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 100
	Pasa tamiz (%)						
SAA – 10	100	95 – 100	80 – 100	50 – 85	25 – 60	10 – 30	2 – 10

El constructor, como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, debe 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 las presentes especificaciones.

432.2.2 Material bituminoso

Debe ser una emulsión catiónica de rotura rápida del tipo CRR-65 o una emulsión de rotura rápida modificada con polímeros del tipo CRR-65m, que cumpla los requisitos de calidad indicados en los artículos 411 o 415, según corresponda.

432.3 Equipo

Se aplica lo que sea pertinente del numeral 400.3 del artículo 400.

Para la ejecución de sellos de arena-asfalto se requieren, básicamente, equipo para la explotación, la elaboración y la clasificación de agregados, para la limpieza de la superficie, distribuidor autopropulsado del material bituminoso, esparcidor mecánico de agregado pétreo, compactadores y herramientas menores.

Para la compactación se deben emplear rodillos neumáticos de un peso preferiblemente superior a cinco toneladas (5 t), cuya presión de inflado de las llantas debe tener la aprobación del interventor, acorde con las recomendaciones establecidas por el fabricante del equipo, además, la diferencia de presión entre llantas no debe superar los cero coma cero treinta y cuatro megapascales (0,034 MPa) (5 psi). Todos los compactadores deben ser autopropulsados y estar dotados de dispositivos para la limpieza de sus llantas, durante la compactación, así como inversores de marcha suaves. Los elementos de limpieza empleados deben ser de eficiencia verificada, garantizando que no son perjudiciales para la mezcla ni para el ambiente; no se debe permitir el uso de productos derivados de la destilación del petróleo.

432.4 Ejecución de los trabajos

432.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

432.4.2 Dosificación del sello

Las cantidades por aplicar de material bituminoso y arena se deben definir en el sitio de los

trabajos, en función del estado de la superficie por proteger, las condiciones ambientales de la región, la intensidad y la magnitud del tránsito circulante y los resultados de la fase de experimentación, y previo el cumplimiento de

los requisitos indicados en el numeral 400.4.2 del artículo 400.

La Tabla 432 — 3 presenta una guía para la dosificación inicial del sello arena-asfalto.

Tabla 432 — 3. Dosificación guía para sellos arena-asfalto

Tipo de gradación	Dosificación (L/m ²)	
	Agregados	Ligante residual
SAA – 10	3,5 – 7,0	0,7 – 1,0

432.4.3 Preparación de la superficie existente

Antes de aplicar el riego del material bituminoso, la superficie se debe encontrar seca y libre de polvo, tierra o cualquier otra sustancia objetable.

Las reparaciones previas que requiera el pavimento, tales como bacheo, sello de fisuras o fresado para eliminación de exceso de ligante o corrección de la superficie, se deben efectuar conforme lo indiquen las especificaciones correspondientes.

432.4.4 Aplicación del ligante bituminoso

Antes de la aplicación del ligante se debe marcar una línea guía en la calzada para controlar el paso del distribuidor y se debe señalar la longitud de la carretera que queda cubierta, de acuerdo con la cantidad de emulsión asfáltica disponible en el distribuidor y la capacidad de extensión del esparcidor de agregados pétreos.

La dosificación elegida del ligante se debe aplicar de manera uniforme a una temperatura que corresponda a una viscosidad Saybolt-Furol comprendida entre veinticinco y cien segundos (25 sSF — 100 sSF), evitando duplicaciones de dotación en las juntas transversales de trabajo, para lo cual se deben colocar fajas de papel grueso, de ancho no menor a un metro (1 m), bajo los difusores, en aquellas zonas donde comience o se interrumpa la aplicación. Se debe especificar el rango de temperaturas de aplicación correspondientes a las viscosidades enunciadas, según los ensayos de calidad efectuados por el proveedor de la emulsión y suministrados al inicio de las labores.

Al comienzo de cada jornada de trabajo se debe verificar la uniformidad del riego, y de ser requerido se debe ajustar la altura del carro tanque irrigador, de tal forma que la base del abanico que se forma al salir el material por una boquilla cubra hasta la mitad o dos terceras partes de la base del abanico contiguo (cubrimiento doble o triple). Si fuere

necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al final de la jornada.

Durante la aplicación del ligante, se deben proteger todos los elementos que señale el interventor, tales como bordillos, vallas o árboles. En trabajos de prueba o de limpieza de los equipos, no se debe permitir descargar el material bituminoso en zanjas o zonas próximas a la carretera.

No se debe permitir ningún tipo de tránsito sobre el ligante aplicado.

432.4.5 Extensión del agregado pétreo

La extensión del agregado se debe realizar de manera uniforme, en la cantidad aprobada por el interventor e inmediatamente después de la aplicación del ligante bituminoso, y se debe garantizar un espesor mínimo igual al tamaño máximo del agregado y máximo de dos coma cinco (2,5) veces el tamaño máximo nominal. La distribución del agregado se debe hacer de manera que se evite el tránsito del esparcidor sobre la capa del ligante sin cubrir. En el instante de la extensión, la humedad del agregado debe ser tal, que no perjudique su adhesividad con el ligante bituminoso empleado.

Cuando el material bituminoso se aplique por franjas, el agregado se debe esparcir de forma que quede sin cubrir una banda de quince a veinte centímetros (15 cm – 20 cm) de la zona tratada, aledaña a la zona que aún no ha recibido el riego, con el fin de completar en dicha banda la dosificación prevista del ligante al efectuar su aplicación en la franja adyacente.

Si el interventor lo aprueba, el esparcimiento de la arena puede ser manual con ayuda de palas.

Los excesos o las deficiencias de agregado pétreo se deben corregir inmediatamente, por medio de la remoción o la adición de agregado, hasta lograr una textura uniforme.

432.4.6 Compactación

Las operaciones de compactación se deben realizar con el compactador neumático y deben comenzar inmediatamente después de la aplicación de la arena. En zonas en tangente, la compactación se debe iniciar por el borde exterior avanzando hacia el centro y traslapando cada pasada con la anterior. En curvas, se debe iniciar desde el borde inferior hacia el borde superior, traslapando cada recorrido con el anterior, de acuerdo con las instrucciones del interventor.

La compactación debe continuar, de acuerdo con el plan definido en la fase de experimentación, hasta obtener una superficie lisa y estable, a una velocidad lo suficientemente lenta para prevenir que se desplace o se levante el agregado y evitando el deterioro de la capa o su trituración, por exceso de pasadas o por el uso de compactadores muy pesados.

432.4.7 Acabado, limpieza y eliminación de sobrantes

Una vez terminada la compactación y transcurrido el plazo necesario para que el ligante utilizado alcance la cohesión suficiente para resistir la acción normal del tránsito vehicular, se debe barrer de manera enérgica la superficie del sello para eliminar todo exceso de arena que haya quedado suelto sobre la superficie. Esta operación debe continuar aún

después de que el tramo con el sello haya sido abierto al tránsito y hasta eliminar completamente la arena suelta. Se debe contemplar como mínimo una frecuencia diaria durante los siguientes cuatro días (4 d) consecutivos a la construcción.

El material sobrante de esta operación debe ser recogido por el constructor, quien lo debe disponer en los sitios que autorice el interventor.

432.4.8 Apertura al tránsito

Siempre que sea posible, se debe evitar todo tipo de tránsito sobre el sello recién ejecutado durante las veinticuatro horas (24 h) siguientes a su terminación. Si ello no es factible, se deben tomar medidas para que los vehículos no circulen a una velocidad superior a treinta kilómetros por hora (30 km/h).

432.4.9 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe permitir la ejecución del tratamiento cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra. Tampoco se debe permitir la aplicación de ligantes bituminosos cuando la velocidad del viento impida que la aplicación de material asfáltico sea uniforme.

Los trabajos de construcción del sello de arena-asfalto se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar

el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe 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.

432.4.10 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.

432.4.11 Reparaciones

Todos los defectos que se presenten durante la ejecución del sello, tales como juntas irregulares, defectos transversales en la aplicación del ligante o el agregado, irregularidades del alineamiento, etc., así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deben ser corregidos por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación, sin costo alguno para INVÍAS.

432.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

432.5.1 Controles

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

432.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

432.5.2.1 Calidad de la emulsión

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión son los establecidos en los artículos 411 y 415, según corresponda.

432.5.2.2 Calidad del agregado

De cada procedencia del agregado y para cualquier volumen previsto se deben tomar dos (2) muestras, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-201 y para cada fracción de ellas se deben realizar los ensayos indicados en la Tabla 432 – 1, cuyos resultados deben satisfacer, en su totalidad, las exigencias allí indicadas. Además, durante la etapa de producción, se deben efectuar las verificaciones de calidad del agregado indicadas en la Tabla 432 – 4.

Tabla 432 – 4. Ensayos de verificación sobre el agregado para sellos de arena-asfalto

Ensayo	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza (F)		
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	1 por semana
Geometría de las partículas (F)		
Angularidad de la fracción fina	E-239	1 por jornada
Adhesividad (O)		
Riedel-Weber	E-774	1 por semana

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 432 – 4, 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 debe permitir el empleo de agregados pétreos que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 432.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de

ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

432.5.2.3 Calidad del producto terminado

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada con sello de arena-asfalto.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de calzada con sello de arena-asfalto.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

En dicho lote, se deben efectuar los controles indicados a continuación:

432.5.2.3.1 Tasa de aplicación

Las dosificaciones del asfalto y del agregado se deben comprobar mediante las normas INV E-818 e INV E-819 respectivamente, en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

Las tasas medias de aplicación de ligante residual (*TML*) y de agregados (*TMA*) por lote, no pueden variar en más de veinte por ciento (20 %) de las autorizadas por el interventor (*TEL* y *TEA*).

$$0,8 \text{ TEL} \leq \text{TML} \leq 1,2 \text{ TEL} \quad [432.1]$$

$$0,8 \text{ TEA} \leq \text{TMA} \leq 1,2 \text{ TEA} \quad [432.2]$$

Así mismo, ningún ensayo individual puede presentar un resultado por fuera del límite citado. Si lo anterior no se cumple, se debe rechazar el lote, salvo que se demuestre que el área con dosificación por fuera de la tolerancia va a presentar un comportamiento satisfactorio y se garantice, en cualquier punto, un coeficiente de resistencia al deslizamiento igual o superior al especificado en el inciso siguiente.

En caso de que no se pueda demostrar que el área construida con dosificación por fuera de la tolerancia presenta un comportamiento satisfactorio, y con independencia de que se cumplan los requisitos de resistencia al deslizamiento, el sello de arena-asfalto correspondiente al lote controlado debe ser levantado mediante fresado y/o microfresado, y repuesto hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción del sello, se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer el sello.

El material fresado es de propiedad del constructor.

432.5.2.3.2 Resistencia al deslizamiento

Antes de la puesta en servicio del sello de arena-asfalto, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento. Debido a que esta se encuentra relacionada directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que deben ser ubicados por el interventor en los lugares que considere más proclives al deslizamiento vehicular en condición de superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta,

intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote y ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 432 – 5, de acuerdo con el tránsito de diseño y el tipo de sección.

Tabla 432 – 5. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Tipo de sección	Coeficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo	
	NT1	NT2
Secciones críticas: - Glorietas - Intersecciones - Zonas de frenado frecuente - Curvas con radio de curvatura < 200 m - Tramos con pendiente > 5 % y longitud \geq 100 m	50	55
Otras secciones	45	50

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 432 – 5 para el péndulo británico.

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser levantada mediante fresado y/o microfresado, y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

432.5.2.3.3 Regularidad superficial

Debido a sus características y el limitado espesor, los sellos de arena-asfalto no pueden corregir defectos asociados con la falta de regularidad del perfil longitudinal de la calzada. Por tal razón, no se debe permitir la colocación del sello, mientras no se garantice que la superficie de la capa sobre la cual se va a construir cumpla los requisitos que se exigen sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la especificación general o particular referente a dicha capa.

432.5.2.4 Modificación eventual de la extensión del lote

Si el interventor considera que las deficiencias de calidad del producto terminado no

son generalizadas en toda el área correspondiente a un lote, sino que se restringen a la superficie tratada por una sola carga del equipo empleado en la aplicación del ligante o del agregado, puede modificar la extensión del lote, limitándola al área construida con dicha carga.

432.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.6.1.

432.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.7.2.

432.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
432.1	Sello de arena-asfalto con emulsión CRR-65	Metro cuadrado (m ²)
432.2	Sello de arena-asfalto con emulsión CRR-65m	Metro cuadrado (m ²)

Lechada asfáltica

Artículo 433 – 22

433.1 Descripción

Este trabajo, también llamado *Slurry Seal*, consiste en la elaboración de una mezcla de agregados pétreos, agua, emulsión asfáltica de rotura lenta, convencional o modificada con polímeros, llenante mineral y, eventualmente, aditivos, sobre la superficie de un pavimento que no presenta un nivel avanzado de deterioro (por ejemplo agrietamientos por fatiga, desprendimiento severo de partículas, grietas con desprendimientos en el borde y ahuellamientos severos), de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas y las secciones indicados en los documentos del proyecto o determinados por el interventor, con el objeto de rejuvenecer e impermeabilizar, sellar fisuras leves, mejorar las condiciones de resistencia al deslizamiento y en consecuencia la seguridad, así como de mitigar desprendimientos menores.

433.2 Materiales

433.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

Los agregados pétreos no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente puedan darse en la zona de empleo. Tampoco pueden 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, debe 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 las presentes especificaciones.

433.2.1.1 Requisitos generales

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben cumplir los requisitos generales del numeral 400.2.1 del artículo 400, y los requisitos particulares de la Tabla 433 – 1.

Tabla 433 — 1. Requisitos de los agregados para lechadas asfálticas

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%)	E-218	25	25	25
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	25	20
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)	E-220	18	18	18
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%) (Nota 1)	E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo	E-235	10	10	10
Geometría de las partículas, agregado fino (F)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%)	E-239	45	45	45
Índice de Adhesividad (O)				
Riedel-Weber, mínimo (Nota 2)	E-774	4	4	4

Nota 1: el equivalente de arena debe ser el del agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo y antes de la incorporación del llenante mineral de aporte. En caso de que no se cumpla el valor mínimo de equivalente de arena señalado en la Tabla 433 — 1, el agregado se debe aceptar si su equivalente de arena es superior a cuarenta por ciento (40 %) y, simultáneamente, el valor de azul de metileno, determinado mediante la norma de ensayo INV E-235, es inferior a diez (10).

Nota 2: en caso que el agregado fino presente un índice de adherencia Riedel-Weber menor a seis (6), se debe tener en cuenta lo especificado en el artículo 412, Suministro de aditivo mejorador de adherencia, para el respectivo mejoramiento de la adhesividad.

433.2.1.2 Agregado fino

El agregado fino debe proceder en su totalidad de la trituración de roca de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no puede exceder del veinticinco por ciento (25 %) de la masa total del agregado combinado.

433.2.1.3 Llenante mineral

El llenante mineral incluido en los agregados se puede complementar o suplir con un producto comercial o especialmente preparado, generalmente cal hidratada o cemento, u otro material inerte de origen calizo libre de materia orgánica y partículas de arcilla cuya misión sea controlar el proceso de rotura de

la emulsión o activar la consecución de la cohesión de la lechada asfáltica. Debe cumplir con lo indicado en la Tabla 433 – 2.

Tabla 433 – 2. Requisitos del llenante mineral

Característica	Norma de ensayo INV	Valor
Densidad <i>bulk</i> (g/cm ³)	E-225	0,5 – 1,1

Adicional a lo anterior, en caso que el producto utilizado sea cal, se deben satisfacer los requisitos indicados en la tabla 433 – 3.

Tabla 433 – 3. Especificaciones para la cal

Requisito	Norma de ensayo	Masa (%)
Cal activa [% Ca (OH) ₂ + % CaO], porcentaje (%) en masa, mínimo	ASTM C25 o NTC 5059	83
Cal deshidratada (porcentaje (%) en masa de CaO), máximo		7
Contenido de agua (porcentaje (%) en masa de H ₂ O), máximo		3

En caso de que el producto empleado corresponda a cemento, este debe ser de tipo Portland y garantizar el cumplimiento de lo establecido en el artículo 501, Suministro de cemento hidráulico, o los requisitos particulares que se establezcan en los documentos del proyecto.

No obstante, se recalca que los productos empleados deben estar respaldados por los certificados de calidad, ficha técnica proporcionados por el fabricante, hoja de seguridad elaborada según los lineamientos dados por

la NTC 4435 o alguna otra que la sustituya, la dosificación, su forma de uso, almacenaje, y fechas de la elaboración y vencimiento.

433.2.1.4 Granulometría

La mezcla de agregados y llenante se debe ajustar a alguna de las gradaciones que se indican en la Tabla 433 – 4. La gradación por utilizar debe estar indicada en los documentos del proyecto y depende del estado de la superficie y de la función que vaya a cumplir la lechada.

Tabla 433 — 4. Gradaciones del agregado para lechadas asfálticas

Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)									
	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,180	0,075	
	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 16	Nro. 30	Nro. 50	Nro. 80	Nro. 200	
Pasa tamiz (%)										
LA — 13	100	85 — 100	60 — 85	40 — 60	28 — 45	19 — 34	12 — 25	7 — 18	4 — 8	
LA — 10	-	100	70 — 90	45 — 70	28 — 50	19 — 34	12 — 25	7 — 18	5 — 11	
LA — 5	-	100	85 — 100	65 — 90	45 — 70	30 — 50	18 — 30	10 — 20	5 — 15	
LA — 3	-	-	100	95 — 100	65 — 90	40 — 60	24 — 42	15 — 30	10 — 20	
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4 %			3 %					1 %	

La gradación LA — 3 solamente se puede utilizar para el sellado de grietas y como sello fino en carreteras de bajo tránsito (NT1). La gradación LA — 5 es de aplicación general para mejorar la macrotextura de la superficie. Las gradaciones LA — 10 y LA — 13 producen superficies con una macrotextura profunda y se emplean en vías con un alto nivel de tránsito (NT3).

433.2.2 Material bituminoso

Debe ser una emulsión catiónica convencional, de rotura lenta y superestable del tipo CRL-57h, que cumpla los requisitos indicados en artículo 411, o una emulsión modificada con polímeros, catiónica de rotura lenta y superestable del tipo CRL-57hm, que cumpla los requisitos indicados en el artículo 415. En caso de vías con alto nivel de tránsito (NT3), se debe emplear una emulsión modificada con polímeros.

Los documentos del proyecto deben indicar el tipo de emulsión por emplear, basándose principalmente en el tipo de agregado, las características del tránsito y las condiciones climáticas locales.

Con el fin de verificar las condiciones del material bituminoso, previo al inicio de las labores, el constructor debe presentar los certificados de los ensayos de calidad correspondientes, conforme a lo establecido en el artículo 411 o 415, según corresponda.

433.2.3 Agua

El agua para la preenvuelta debe ser limpia y libre de materia orgánica, así como de sales nocivas, químicos reactivos, aceites o contaminantes. Su calidad debe ser tal, que no afecte el proceso normal de elaboración, rotura y curado de la lechada. Puede ser agua potable; si no lo es, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 433 — 5.

Tabla 433 — 5. Requisitos del agua no potable para la construcción lechadas asfálticas

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH	D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como $\text{SO}_4^{=}$, máximo (kg/m^3)	D516	1,0

433.2.4 Aditivos para control de rotura

Cuando las características del proyecto exijan un control especial de los tiempos de rotura y apertura al tránsito, se deben emplear aditivos cuyas características se deben definir en las especificaciones particulares de construcción. Su dosificación y modo de dispersión, deben contar con aprobación del interventor, apoyado en el estudio técnico que los justifique (pruebas de calidad).

433.2.5 Aditivos para modificar la reología

En caso de incorporar productos modificadores de la reología de una lechada asfáltica elaborada con emulsión asfáltica convencional, fibras, por ejemplo, los documentos del proyecto deben determinar su dosificación, así como la del ligante utilizado, de manera que el comportamiento de la lechada sea semejante al que se obtendría al emplear una emulsión modificada con polímeros. A fin de verificar esta condición, es necesario que el constructor presente las curvas reológicas de los materiales (modificado y convencional).

433.3 Equipo

Se aplica lo que sea pertinente del numeral 400.3 del artículo 400.

El equipo debe incluir los elementos necesarios para la explotación, elaboración y clasificación de los agregados, una mezcladora móvil autopropulsada para la fabricación y extensión de la lechada; elementos para la limpieza de la superficie, elementos para el humedecimiento de la superficie y herramientas menores para correcciones localizadas durante la extensión de la lechada.

La mezcladora móvil debe ser de tipo continuo, dotada de las tolvas, tanques y dispositivos necesarios, de lectura fácil, sincronizados para dosificar de manera precisa los agregados, el llenante, el agua, la emulsión y los aditivos que requiera la lechada, de manera que permita obtener la composición correspondiente a la fórmula de trabajo; debe tener, además, un mezclador capaz de combinar uniformemente los componentes y descargar en flujo continuo, y una caja repartidora o rastra, que cubra como mínimo el ancho del carril, provista de dispositivos para evitar pérdidas laterales y de una maestra regulable de caucho que permita el correcto reparto, extensión y buena terminación de la lechada. La rastra debe llevar en su interior un dispositivo que reparta uniformemente la lechada asfáltica ante la maestra.

El mezclador de la máquina debe ser de doble eje y de paletas múltiples, siempre que la lechada se elabore con una emulsión asfáltica modificada con polímeros.

433.4 Ejecución de los trabajos

433.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

433.4.2 Diseño de la lechada y obtención de la fórmula de trabajo

Rige todo lo que resulte pertinente del numeral 400.4.2 del artículo 400.

La consistencia apropiada de la lechada se debe determinar en el laboratorio por medio de la prueba del cono de consistencia (norma de ensayo INV E-777).

El contenido óptimo de ligante se debe determinar mediante los ensayos mecánicos de abrasión en pista húmeda, según la norma de ensayo INV E-778 y absorción de arena en la máquina de rueda cargada, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-779. Para la elección del contenido óptimo, se deben tener en cuenta los criterios indicados en la Tabla 433 — 6.

Salvo que los ensayos del diseño indiquen lo contrario, la composición de la lechada se debe ajustar a lo establecido en la Tabla 433 — 7.

La lechada asfáltica no se puede fabricar a escala industrial, mientras el interventor no haya aprobado la fórmula de trabajo y realizado las verificaciones correspondientes en la fase de experimentación.

Tabla 433 — 6. Criterios para el diseño de lechadas asfálticas

Ensayo	Norma de ensayo INV	Valor máximo
Pérdida en el ensayo de abrasión en pista húmeda	E-778	0,065 g/cm ²
Absorción de arena en la máquina de rueda cargada: Tránsito medio diario (vehículos):	E-779	1 por semana
- Menos de 300		0,08 g/cm ²
- De 300 a 1 500		0,07 g/cm ²
- Más de 1 500		0,06 g/cm ²

433.4.3 Preparación de la superficie existente

Antes de proceder a la aplicación de la lechada asfáltica, la superficie que la va a recibir se debe limpiar de polvo, barro seco o cualquier material suelto que pueda ser perjudicial, utilizando barredoras mecánicas o máquinas sopladoras. Solo se debe permitir el uso de escobas manuales en lugares inaccesibles a

los equipos mecánicos o donde las autoridades ambientales prohíban el uso de estos.

Si la superficie sobre la cual se va a aplicar la lechada corresponde a un pavimento asfáltico, se deben eliminar previamente, mediante fresado, todos los excesos de ligante que puedan existir y se deben reparar todos los desperfectos que puedan impedir una correcta

adherencia de la lechada asfáltica, tales como grietas, ahuellamientos y/o baches.

Las tapas de alcantarillas, válvulas y otras entradas de servicio se deben proteger de la aplicación con un método adecuado.

Tabla 433 – 7. Composición de las lechadas asfálticas

Composición	Tipo de gradación			
	LA – 13	LA – 10	LA – 5	LA – 3
Ligante residual (porcentaje (%) en masa sobre agregados)	5,5 – 7,5	6,5 – 12	7,0 – 13	10 – 15
Agua de preenvuelta (porcentaje (%) en masa sobre agregados)	8 – 12	10 – 15	10 – 15	10 – 20
Agua total (porcentaje (%) en masa sobre agregados)	10 – 20	10 – 20	10 – 20	10 – 30
Cantidad de lechada (kg/m ²)	15 v 20	10 – 15	7 – 12	4 – 8
Capa en que se aplica	2. ^a o única		cualquiera	1. ^a o única

433.4.4 Fase de experimentación

Se aplica lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

433.4.5 Elaboración y aplicación de la lechada asfáltica

Una vez preparada y antes de iniciar la extensión de la lechada, la superficie por tratar debe ser humedecida con agua de manera uniforme en una cantidad que se debe fijar en acuerdo con el interventor, a la vista del estado de la superficie y las condiciones climatológicas prevalecientes. La tasa de distribución del agua puede estar entre cero coma trece y cero coma veintisiete litros por metro cuadrado (0,13 L/m² – 0,27 L/m²) y se debe ajustar durante el día de acuerdo con las variaciones de temperatura, textura superficial y humedad del pavimento.

Las proporciones de los componentes de la lechada deben corresponder a la fórmula de trabajo aprobada.

La incorporación de los ingredientes se debe hacer de manera que la envuelta de los agregados por parte del ligante sea completa y homogénea mientras la lechada permanezca en el cajón mezclador.

La lechada preparada en el cajón mezclador de la máquina debe pasar a través de una compuerta vertedero a la caja repartidora, la cual se debe encargarse de distribuirla de manera uniforme sobre la superficie.

El avance del equipo se debe hacer paralelamente al eje de la carretera y su velocidad se debe ajustar para garantizar una aplicación correcta de la lechada y una textura uniforme. Los límites de velocidad pueden estar entre los veinte y los cincuenta y cinco metros por minuto (20 m/min – 55 m/min).

El espesor de puesta en obra de la lechada no debe exceder el correspondiente al tamaño máximo nominal del agregado pétreo empleado en su elaboración.

No se debe colocar ninguna mezcla cuya emulsión hubiere dado rompimiento antes de las operaciones de distribución, ni cuando existan demoras de más de treinta minutos (30 min) entre la preparación de la mezcla y su colocación.

433.4.6 Juntas de trabajo

Las juntas de trabajo longitudinales no pueden presentar traslapos ni áreas sin cubrir y las acumulaciones que se produzcan deben ser alisadas manualmente de manera inmediata, antes de la rotura de la emulsión. Al finalizar la extensión de una franja, se debe realizar una junta transversal de trabajo, la cual debe ser recta y perpendicular al eje de la vía. Los traslapos de las juntas transversales deben ser alisados antes de la rotura de la emulsión, de modo que no se presenten cambios apreciables en la uniformidad de la superficie.

433.4.7 Aplicación en varias capas

En caso de estar prevista una segunda aplicación de lechada asfáltica, esta no se puede efectuar hasta cuando haya curado por completo el material extendido en la primera aplicación y haya sido sometido al tránsito automotor al menos durante un día (1 d). El material que se desprenda debe ser barrido antes de proceder a la aplicación de la segunda capa.

Las juntas longitudinales y transversales de la segunda capa no deben coincidir con las de la primera.

433.4.8 Apertura al tránsito

Se debe impedir la circulación de todo tipo de tránsito sobre las capas que no hayan curado

completamente. El tiempo requerido para dicho curado depende del tipo de emulsión, de las características de la mezcla y de las condiciones climáticas y debe ser definido en la obra conjuntamente con el interventor.

433.4.9 Limitaciones en la ejecución

No se permite la elaboración y la aplicación de la lechada, si la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie son inferiores a ocho grados Celsius (8 °C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe 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.

433.4.10 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.

433.4.11 Reparaciones

Todos los defectos que se presenten durante la ejecución de la lechada asfáltica, tales como

juntas irregulares, deficiencias o excesos de dosificación, irregularidades en el alineamiento, huellas del tránsito sobre la lechada sin curar, etc., deben ser corregidos por el constructor, sin costo para INVÍAS y hasta contar con la aprobación del interventor.

433.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

433.5.1 Controles

Rige lo indicado en el numeral 400.5.1 del artículo 400.

433.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

433.5.2.1 Calidad de la emulsión

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión son los establecidos en los artículos 411 o 415, según corresponda.

433.5.2.2 Calidad del agua

Siempre que el interventor tenga alguna sospecha en relación con la calidad del agua empleada, debe verificar su pH y su contenido de sulfatos, cuyos valores deben ser acordes con lo exigido en el numeral 433.2.3, para permitir su empleo.

433.5.2.3 Calidad de los agregados pétreos y el llenante mineral

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que sean pertinentes de aquellos que se encuentran indicados en la Tabla 433 — 1.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y sobre ellas se debe determinar la densidad *bulk* (norma de ensayo INV E-225).

Los resultados de todas estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 433.2.1. Todos los materiales defectuosos deben ser rechazados por el interventor.

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

Además, efectuar las verificaciones de calidad de los agregados indicadas en la Tabla 433 — 7. Sobre el llenante mineral se deben efectuar pruebas de densidad *bulk* (norma de ensayo INV E-225) a razón de una (1) vez por semana, como mínimo, y siempre que se cambie la procedencia del llenante.

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 433 — 8, siempre que este 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 deben emplear agregados o llenante que no satisfagan los requisitos

pertinentes del numeral 433.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de

ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

Tabla 433 — 8. Ensayos de verificación sobre los agregados para lechadas asfálticas

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno (Nota)	E-235	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada
Adhesividad (O)		
Riedel-Weber	E-774	1 por semana

Nota: en caso de que no se cumpla el valor mínimo de equivalente de arena señalado en la Tabla 433 — 1.

433.5.2.4 Composición y resistencia de la lechada

433.5.2.4.1 Contenido de asfalto

Para efectos del control, se debe considerar como lote que se acepta o rechaza en su totalidad, la lechada asfáltica correspondiente a dos (2) cargas de la máquina mezcladora. De ella, se debe extraer un mínimo de cinco (5) muestras de la mezcla en la descarga de la máquina, de una masa aproximada de dos

kilogramos (2 kg) cada una, las cuales se deben emplear en la determinación del contenido de asfalto (norma de ensayo INV E-732) y la granulometría de los agregados (norma de ensayo INV E-782).

El contenido medio de asfalto residual del tramo constituido por el lote (*ART* %) no debe diferir del contenido de asfalto establecido en la fórmula de trabajo (*ARF* %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %).

$$(ARF \% - 0,5 \%) \leq ART \% \leq (ARF \% + 0,5 \%)$$

[433.1]

A su vez, solo se debe admitir un valor de contenido de asfalto residual de muestra individual (ARI %) que se aparte en más de uno por ciento (1,0 %) del valor medio del lote.

$$(ART \% - 1,0 \%) \leq ARI \% \leq (ART \% + 1,0 \%)$$

[433.2]

Si alguno de estos requisitos se incumple, se debe rechazar el lote. En este caso, la lechada asfáltica correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada. El material fresado es de propiedad del constructor.

433.5.2.4.2 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, en cada ensayo individual, debe ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada y estar ajustada a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 433 — 3. No se debe permitir que la curva se salga de los límites de dicha franja.

Cuando los valores obtenidos incumplan los requisitos establecidos en la Tabla 433 — 3,

pero no salgan de la franja, el constructor debe preparar una lechada con la gradación defectuosa y el porcentaje de emulsión que dé lugar al contenido medio de asfalto residual de la lechada elaborada con este agregado. Ella se debe someter a las pruebas de resistencia y absorción mencionadas en el numeral 433.4.2 de esta especificación. En caso de no cumplir los requisitos exigidos por dichas pruebas, se debe rechazar el lote.

En caso de rechazo, la lechada asfáltica correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada. El material fresado es de propiedad del constructor.

433.5.2.4.3 Resistencia

Por cada lote se deben extraer dos (2) muestras de la mezcla en la descarga de la máquina (una de cada carga que constituye el lote), con las cuales se deben elaborar probetas para los ensayos de abrasión en pista húmeda (norma de ensayo INV E-778) y absorción de arena en la máquina de rueda cargada (norma de ensayo INV E-779).

El desgaste medio (d_m) y la absorción media de arena (A_m), no deben superar los valores definidos en la fórmula de trabajo (d_t) y (A_t) en más de veinte por ciento (20 %). En caso contrario, se debe rechazar el lote.

$$d_m \leq 1,2 \quad d_t \quad [433.3]$$

$$A_m \leq 1,2 A_t \quad [433.4]$$

En caso de rechazo, la lechada asfáltica correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada. El material fresado es de propiedad del constructor.

433.5.2.5 Calidad del producto terminado

El pavimento terminado se debe ajustar a las rasantes y pendientes establecidas en los documentos del proyecto y presentar una superficie uniforme. La distancia entre el eje del proyecto y el borde del pavimento tratado con lechada asfáltica no puede ser, en ningún punto, inferior a la señalada en los documentos del proyecto.

Para cada lote, se deben realizar los siguientes controles:

433.5.2.5.1 Tasa de aplicación

La dotación de la lechada se debe verificar mediante el pesaje de bandejas metálicas u hojas de papel resistente, colocadas durante la aplicación de la lechada, en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro.

La tasa media de aplicación (*TMA*), en kilogramos por metro cuadrado (kg/m^2), no puede

variar en más de quince por ciento (15 %) de la autorizada como resultado de la fase de experimentación (*TME*), so pena de rechazo del tramo que constituye el lote.

$$0,85 TME \leq TMA \leq 1,15 TME \quad [433.5]$$

En caso de rechazo, la lechada asfáltica correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada. El material fresado es de propiedad del constructor.

433.5.2.5.2 Textura

Por cada lote se deben efectuar, como mínimo, tres (3) pruebas de profundidad de textura con el círculo de arena (INV E-791). Las pruebas se deben realizar dentro de los quince días (15 d) siguientes a la extensión de la lechada.

Ningún valor de la profundidad de textura puede ser inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido en la Tabla 433 — 9.

El incumplimiento de este requisito implica el rechazo del lote representado por los ensayos. En tal caso, la lechada debe ser levantada mediante fresado y repuesta con una adecuada, por cuenta del constructor, hasta contar con la aprobación del interventor y sin costo alguno para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa

algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el

interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada.

Tabla 433 – 9. Valores promedio de la profundidad de textura mínimos admisibles para las lechadas asfálticas

Característica	Tipo de lechada			
	LA – 13	LA – 10	LA – 5	LA – 3
Profundidad de textura, mínimo (mm)	1,1	0,9	0,7	0,5

433.5.2.5.3 Resistencia al deslizamiento

Por cada lote se deben efectuar, como mínimo, tres (3) ensayos de resistencia al deslizamiento de conformidad con la norma de ensayo INV E-792. Tales ensayos se deben realizar una vez transcurridos treinta días (30 d) desde la aplicación de la lechada.

Los valores promedio de la resistencia al deslizamiento con el péndulo británico no puede ser menores que los mínimos admisibles relacionados en la Tabla 433 – 10. Ningún valor individual del coeficiente de resistencia al deslizamiento puede ser inferior al valor indicado en dicha tabla en más de diez unidades (10) ni ser inferior a cuarenta y cinco (45).

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo

INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales debe ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 433 – 10 para el péndulo británico.

El incumplimiento de este requisito implica el rechazo del lote representado por los ensayos. En tal caso, la lechada debe ser levantada mediante fresado y repuesta con una adecuada, por cuenta del constructor, hasta contar con la aprobación del interventor y sin costo alguno para INVÍAS. Si durante el proceso de remoción de la lechada se causa algún deterioro a la capa subyacente, esta debe ser reparada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, antes de reponer la lechada. El material fresado es de propiedad del constructor.

Tabla 433 – 10. Resistencia al deslizamiento con el péndulo británico para las lechadas asfálticas

Característica	Tipo de lechada			
	LA – 13	LA – 10	LA – 5	LA – 3
Promedio del coeficiente de resistencia, mínimo:				
- Glorietas; curvas con radios menores de 200 m;				
pendientes $\geq 5\%$ en longitudes de 100 m o más;				
intersecciones; zonas de frenado frecuente:				
• NT1	55		50	50
• NT2	60		60	55
• NT3	60		60	60
- Otras secciones:				
• NT1	50		45	45
• NT2	60		55	50
• NT3	60		55	55

433.5.2.5.4 Regularidad superficial

Debido a sus características y limitado espesor, las lechadas asfálticas no pueden corregir defectos asociados con la falta de regularidad del perfil longitudinal de la calzada. Por tal razón, no se debe permitir la colocación de la lechada, mientras no se garantice que la superficie de la capa sobre la cual se va a construir cumpla los requisitos que se exigen sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en la especificación general o particular referente a dicha capa.

433.5.2.6 Modificación eventual de la extensión del lote

Si el interventor considera que las deficiencias de calidad del producto terminado no son generalizadas en toda el área considerada como lote en el numeral 433.5.2.4.1, sino que se restringen a la superficie tratada por una sola carga del equipo empleado en la aplicación de la lechada, puede modificar la extensión del lote, limitándola al tramo construido con dicha carga.

433.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400 y, en particular, lo indicado en el numeral 400.6.1.

433.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400 y, en particular, lo indicado en el numeral 400.7.2.

433.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
433.1	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57h, tipo LA – 13	Metro cuadrado (m ²)
433.2	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57h, tipo LA – 10	Metro cuadrado (m ²)
433.3	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57h, tipo LA – 5	Metro cuadrado (m ²)
433.4	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57h, tipo LA – 3	Metro cuadrado (m ²)

Ítem	Descripción	Unidad
433.5	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57hm, tipo LA – 13	Metro cuadrado (m ²)
433.6	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57hm, tipo LA – 10	Metro cuadrado (m ²)
433.7	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57hm, tipo LA – 5	Metro cuadrado (m ²)
433.8	Lechada asfáltica con emulsión CRL-57hm, tipo LA – 3	Metro cuadrado (m ²)

Mezclas asfálticas en frío (densa y abierta)

Artículo 440 – 22

440.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una mezcla asfáltica preparada en frío, 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 Tabla 440 — 1 relaciona dos tipos de mezclas asfálticas en frío, en función del tipo de granulometría densa o abierta. Las mezclas asfálticas de tipo abierto pueden ser preparadas en una planta fija o ambulante.

Tabla 440 — 1. Tipos de mezclas asfálticas en frío

Tipo	Denominación
Mezclas densas	MDF
Mezclas abiertas	MAF

440.2 Materiales

440.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

440.2.1.1 Requisitos generales

Los requisitos que se exigen en esta sección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica. En caso de no cumplirse alguno(s) de ellos, la aceptación o rechazo respectivos deben ser evaluados según las premisas de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales. La aprobación debe ser sustentada

mediante un informe técnico detallado, desarrollado por el especialista en pavimentos y/o geotecnia, donde se consigne cuál debe ser el desempeño y la durabilidad, proponiendo las estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento del diseño. El interventor debe aprobar o rechazar los materiales en función de los requisitos establecidos en esta sección y en los establecidos en el informe de desempeño del especialista.

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben cumplir los requisitos generales del numeral 400.2.1 del artículo 400. Adicionalmente, deben cumplir los requisitos específicos de la Tabla 440 — 2.

Tabla 440 — 2. Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en frío

Característica	Norma de ensayo	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota 1): - Capa de: rodadura/intermedia/base	INV E-218	25/35/-	25/35/35	25/35/35
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%): - Capa de: rodadura/intermedia/base	INV E-238	-	25/30/30	20/25/25
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos, capa de: rodadura/intermedia/base: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	INV E-224	-	-	110/90/75 75/75/75
Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo.	INV E-232	45	45	45
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%).	INV E-220	18	18	18
Análisis petrográfico				
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado (Nota 2).	ASTM C295	-	-	Reportar
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%).	INV E-237	0,5	0,5	0,5
Limpieza, gradación combinada (F) (Nota 2)				
Índice de Plasticidad, máximo (%).	INV E-125 e INV E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	INV E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo.	INV E-235	10	10	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	INV E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%): - Una cara: rodadura/intermedia/base - Dos caras: rodadura/intermedia/base	INV E-227	75/60/- -/-/-	75/75/60 60/-/-	85/75/60 70/-/-
Geometría de las partículas, agregado fino (F) (Nota 2)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%): - Capa de: rodadura/intermedia/base	INV E-239	40/35/-	45/40/35	45/40/35

Característica	Norma de ensayo	Nivel de Tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Gravedad específica				
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%).	INV E-757	Reportar		
Agregado fino (Nota 3): adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	INV E-774	4		
Gravedad específica y absorción	INV E-222 y INV E-223	Reportar		

Nota 1: se aceptan valores superiores de desgaste siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla; esta nota no resulta aplicable para tránsito NT1.

Nota 2: este ensayo es aplicable únicamente para tránsito NT3. El informe debe cuantificar los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado, debe incluir advertencia sobre la presencia de minerales contaminantes, deletéreos, con posibles reactividades químicas, inestables o susceptibles a cambios volumétricos. Debe indicar el grado de meteorización o de alteración del agregado, y la porosidad. También debe incluir valores de acidez y carga de partícula con un concepto sobre la adherencia con el asfalto y las emulsiones.

Nota 3: los requisitos de los agregados referidos a Limpieza, gradación combinada (F) y Geometría de las partículas, agregado fino (F), no son aplicables a los agregados pétreos empleados en la preparación de mezclas de tipo abierto, en la medida que estas mezclas tienen grandes porcentajes de vacíos y no tienen en su composición porcentajes significativos de agregado fino ni llenante mineral.

440.2.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso debe proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. El agregado grueso debe estar exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan

impedir la adhesión completa del material bituminoso.

440.2.1.3 Agregado fino

El agregado fino debe proceder en su totalidad de la trituración de roca de cantera o de grava natural o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no puede exceder los valores indicados en la Tabla 440 — 3.

Tabla 440 — 3. Proporción de arena natural en el agregado para mezclas asfálticas densas en frío

Característica	NT1	NT2	NT3
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado combinado.	≤ 25	≤ 25	≤ 15
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado fino.	≤ 50		

Nota: los requisitos de la Tabla 440 — 3 no son aplicables a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto.

440.2.1.4 Llenante mineral

El llenante mineral puede provenir de los procesos de trituración de los agregados pétreos o puede ser de aporte como producto comer-

cial, generalmente cal hidratada (ver requisitos en la NTC 4019) o cemento hidráulico (ver requisitos en el numeral 501.2.1 del artículo 501). Debe cumplir los requisitos mencionados en la Tabla 440 — 4.

Tabla 440 — 4. Requisitos del llenante mineral

Característica	Norma de ensayo INV	NT1	NT2	NT3
Granulometría del llenante mineral de aporte: - % que pasa tamiz de 1,18 mm (nro. 16) - % que pasa tamiz de 0,600 mm (nro. 30) - % que pasa tamiz de 0,150 mm (nro. 100) - % que pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	E-215		100 97 — 100 95 — 100 70 — 100	
Densidad <i>bulk</i> (g/cm ³)	E-225		0,5 — 0,8	
Vacíos del llenante seco compactado (%)	E-229	-		≥ 38

Nota: los requisitos de la Tabla 440 — 4 no son aplicables a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto.

La proporción de llenante mineral de aporte se fija en las especificaciones particulares del proyecto.

440.2.1.5 Granulometría

La granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas frac-

ciones, incluido el llenante mineral cuando aplique, debe estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas en la Tabla 440 — 5. El análisis granulométrico se debe efectuar, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-213.

Tabla 440 — 5. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en frío

Tipo de mezcla	Tipo de gradación	Tamiz (mm / U.S. Standard)								
		37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,300	0,075
		1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	¾ Pulgada	½ Pulgada	¾ Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 50	Nro. 200
		Pasa tamiz (%)								
Densa	MDF-38	100	80 – 95	-	62 – 77	-	45 – 60	35 – 50	13 – 23	3 – 8
	MDF-25	-	100	80 – 95	-	60 – 75	47 – 62	35 – 50	13 – 23	3 – 8
	MDF-19	-	-	100	80 – 95	-	50 – 65	35 – 50	13 – 23	3 – 8
	Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4 %						3 %		1 %
Abierta	MAF-38	100	70 – 95	-	25 – 55	-	0 – 15	0 – 5	-	0 – 2
	MAF-25	-	100	70 – 95	-	20 – 45	0 – 20	0 – 10	-	0 – 2
	MAF-19	-	-	100	70 – 95	-	10 – 30	0 – 10	-	0 – 2
	Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4 %						3 %		

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe 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 gradación por utilizar debe estar en función del tipo de capa y el espesor compacto. Esto se define en los documentos del proyecto, siguiendo los criterios de la Tabla 440 — 6.

Tabla 440 — 6. Tipo de gradación por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

Tipo de mezcla	Tipo de gradación	Tipo de capa	Espesor de capas de compactación (mm)
Densa	MDF-19	Rodadura	40 – 50
	MDF-25		50 – 75
	MDF-25	Intermedia	≥ 50
	MDF-38	Base	≥ 75

Tipo de mezcla	Tipo de gradación	Tipo de capa	Espesor de capas de compactación (mm)
Abierta	MAF-19 MAF-25	Rodadura	< 40 40 — 75
	MAF-25	Intermedia	40 — 75
	MAF-38	Base	> 75

Nota: para las mezclas densas en el caso de bacheos, el tipo de gradación por emplear depende de las características de las capas existentes y se debe definir en los documentos del proyecto. En el caso de las mezclas asfálticas abiertas en frío, se puede emplear la gradación MAF-38.

440.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar las mezclas asfálticas en frío debe ser emulsiones asfálticas de rotura media o lenta que cumplan los requisitos de calidad establecidos en

el artículo 411, Suministro de emulsión asfáltica catiónica, y que sea compatible con los agregados pétreos por emplear. El tipo de emulsión por emplear se define siguiendo los lineamientos de la Tabla 440 — 7.

Tabla 440 — 7. Tipo de emulsión asfáltica por utilizar en fabricación de mezclas asfálticas en frío

Tipo de mezcla	Tipo de emulsión	Rotura	Designación
Densa	Catiónica	Lenta	CRL-57 CRL-57h
Abierta		Media	CRM-65

440.2.3 Agua

El agua por emplear en la elaboración de mezclas asfálticas en frío debe ser limpia y libre

de materia orgánica y otras sustancias perjudiciales. Puede ser agua potable. Si no lo es, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 440 — 8.

Tabla 440 — 8. Requisitos del agua no potable para la construcción mezclas asfálticas en frío

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH	D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄ ⁼ , máximo (kg/m ³)	D516	1,0

Nota: los requisitos de la Tabla 440 — 8 no son aplicables a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto, ya que estas normalmente no requieren la adición de agua.

440.2.4 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el material bituminoso

Cuando se requieran, se deben ajustar a lo descrito en el artículo 412, Suministro de aditivo mejorador de adherencia. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce efecto nocivo alguno 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, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobada por este.

440.3 Equipo

Los principales elementos requeridos para la ejecución de los trabajos, son los siguientes:

- Equipo para la elaboración de agregados triturados.
- Planta mezcladora fija o móvil.
Equipo para el transporte de agregados y mezclas.
- Equipo para transferencia de la mezcla (*shuttle buggy*), opcional.
- Pavimentadora autopropulsada para la extensión de la mezcla.
- Equipo de compactación.
- Equipo accesorio.

En relación con el equipo, rige lo que resulte aplicable del numeral 400.3 del artículo 400. A continuación, se mencionan algunos aspectos adicionales:

440.3.1 Equipo de compactación

Se deben utilizar compactadores autopropulsados de rodillos metálicos, de neumáticos, estáticos o vibratorios, triciclos o tándem. El equipo de compactación debe ser aprobado por el interventor, a la vista de los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

440.3.2 Equipo accesorio

En caso de que la mezcla se elabore en plantas ambulantes, se debe disponer de vehículos adecuados para el suministro permanente de agregados, agua y emulsión a las plantas.

Para el caso de las mezclas de tipo abierto se requiere, además, un esparcidor mecánico o volqueta desde el cual se pueda repartir arena manualmente sobre la superficie con ayuda de palas. Dado que las mezclas abiertas en frío normalmente no requieren la adición de agua, los depósitos y los dispositivos para la aplicación de esta en la planta pueden no ser necesarios.

440.4 Ejecución de los trabajos

440.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

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

440.4.2.1 Generalidades

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

440.4.2.2 Diseño de la mezcla

Las mezclas asfálticas en frío de tipo denso se deben diseñar por resistencia a la compresión, siguiendo los pasos descritos en la Tabla 440 — 9 y los numerales 440.4.2.2.1, 440.4.2.2.2, 440.4.2.2.3 y 440.4.2.2.4.

Por su parte, para las mezclas de tipo abierto, el contenido del ligante se debe fijar en función de los materiales por emplear, basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos. Se debe verificar que las mezclas (especialmente las abiertas) no produzcan escurrimiento de la emulsión. Se debe hacer, ante todo, una determinación del contenido óptimo teórico de ligante, utilizando métodos basados en la superficie específica de los agregados. Luego, con proporciones variables de ligante por encima y por debajo de este óptimo teórico, se deben elaborar mezclas para someterlas al ensayo

de cubrimiento y desplazamiento, según la norma INV E-769, cuyos resultados permiten definir la proporción de emulsión, en relación con el peso de los agregados secos.

La fórmula de trabajo debe indicar cuántos días o semanas puede permanecer la mezcla en condiciones de almacenamiento antes de proceder con su instalación.

La mezcla abierta en frío no se puede fabricar a escala industrial, mientras el interventor no haya aprobado la fórmula de trabajo y realizado las verificaciones correspondientes en la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras, varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan de manera frecuente las tolerancias granulométricas establecidas en este artículo, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

Tabla 440 — 9. Pasos para el diseño de las mezclas asfálticas densas en frío

Pasos	Descripción	Numeral
Diseño preliminar	Contenido de agua de preenvuelta	440.4.2.2.1
	Contenido de ligante	
	Humedad de compactación	
Diseño por resistencia	Prueba de inmersión-compresión	440.4.2.2.2
Verificación del diseño por resistencia (capas de rodadura con tránsito NT3)	Ahuellamiento	440.4.2.2.3

440.4.2.2.1 Diseño preliminar

Los contenidos de agua de preenvuelta y de ligante se deben fijar, en función de los

materiales por emplear, basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos. Adicionalmente, se deben hacer las determinaciones indicadas en la Tabla 440 — 10.

Tabla 440 — 10. Determinaciones para el diseño preliminar de mezclas asfálticas densas en frío

Parámetro	Norma de ensayo INV	Comentarios
Humedad de compactación	E-142	Se determina la humedad óptima
Contenido óptimo teórico de ligante, utilizando métodos basados en la superficie específica de los agregados	E-741	Con la norma se determina la superficie específica del agregado y se aplica una constante de riqueza apropiada

440.4.2.2.2 Diseño por resistencia

Se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante, por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos cuatro

(4) contenidos de ligante), para someterlas al ensayo de inmersión-compresión. El contenido óptimo de ligante se debe determinar mediante la aplicación de los criterios mencionados en la Tabla 440 — 11.

Tabla 440 — 11. Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de ligante

Parámetro	Norma de ensayo INV	Valor
Resistencia seca R_s , mínimo (MPa)	E-622	2,5
Resistencia húmeda R_h , mínimo (MPa)		2,0
Resistencia conservada $R_c = R_h/R_s$, mínimo (%)		75

440.4.2.2.3 Verificación del diseño por resistencia (capas de rodadura en carreteras con tránsito de diseño NT3)

Para capas de rodadura en vías con tránsito de diseño NT3, la mezcla definida como óptima al efectuar el diseño por el método de inmersión-compresión se debe verificar 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, modificada, de manera que se permita el curado de la mezcla compactada, antes de proceder al ensayo. Debe cumplir los criterios que se presentan en la Tabla 440 — 12.

Tabla 440 — 12. Criterios de resistencia a la deformación plástica para capas de rodadura en carreteras con tránsito NT3

Propiedad	Norma de ensayo INV	Valor
Velocidad máxima de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos ($\mu\text{m}/\text{min}$):	E-756	
- Temperatura media anual $> 24\text{ }^\circ\text{C}$		15
- Temperatura media anual $\leq 24\text{ }^\circ\text{C}$		20

Si este requisito no se cumple, se deben efectuar los ajustes necesarios en el diseño de la mezcla.

440.4.2.2.4 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.

440.4.3 Preparación de la superficie existente

Las mezclas asfálticas en frío no se deben extender hasta que se compruebe que, la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias admitidas en la especificación respectiva se deben corregir, de acuerdo con lo establecido en ella.

Si la extensión de la mezcla requiere riegos previos de imprimación o de liga, ellos se deben realizar conforme lo establecen los artículos correspondientes de estas especificaciones.

Antes de aplicar la mezcla, se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego previo. No deben quedar restos de fluidificante en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma per-

judicial. Si ello sucede, el constructor debe 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 lo debe realizar a su costa.

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer el nivel actual, se deben ejecutar 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 dicha excavación.

Si la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que, de acuerdo con los estudios y documentos del proyecto, requiere un frezado previo, este se debe realizar conforme se establece en el artículo 460.

440.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

440.4.5 Aprovechamiento de los agregados

Cuando la mezcla se elabore en instalaciones fijas, los agregados se deben suministrar fraccionados. El número de fracciones debe ser tal que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias aceptadas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y se debe poder acopiar y manejar sin peligro de segregación, al cumplir las precauciones que se detallan a continuación.

Cada fracción del agregado se debe acopiar separada de las demás para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de ellos. Los acopios se deben construir por capas de espesor no superior a uno coma cinco metros (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

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

La carga de las tolvas se debe realizar de forma que estas contengan entre cincuenta y cien por ciento (50 % – 100 %) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones. La alimentación del agregado fino se debe realizar en dos (2) tolvas, así este sea de un tipo único.

440.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica

Las aberturas de salida de las tolvas se deben regular, de forma que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de alimentación en frío.

Los agregados preparados, como se ha indicado anteriormente, se deben pesar o medir exactamente. De igual forma, se deben transportar al mezclador, en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Si la instalación de fabricación de la mezcla es de tipo continuo, una vez que los agregados se encuentren en el mezclador, se debe introducir el agua de preenvuelta necesaria, de acuerdo con la humedad de aquellos y, más adelante, la cantidad de emulsión requerida, a la temperatura apropiada, manteniendo la compuerta de salida a la altura que proporcione el tiempo teórico de mezcla especificado.

Nota: lo referente a la incorporación de agua de preenvuelta en el mezclador no resulta aplicable para las mezclas asfálticas en frío de tipo abierto, ya que estas normalmente no requieren la adición de agua.

La tolva de descarga se debe abrir intermitentemente para evitar segregaciones en la caída de la mezcla al camión.

Si la instalación es de tipo discontinuo, después de haber introducido los agregados en el mezclador, se debe añadir el agua necesaria de preenvuelta de acuerdo con la humedad de aquellos y, tras un lapso que permita el humedecimiento homogéneo de los agregados, se debe añadir automáticamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual se debe encontrar a la temperatura adecuada y se debe continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

En los mezcladores de ejes gemelos, el volumen total de los agregados, agua y asfalto no debe ser tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical.

Según el tipo de instalación, la mezcla puede caer directamente a la volqueta, a una banda transportadora, a un silo desde donde se vierte a la volqueta o directamente a una

pila de almacenamiento. En el caso de que se emplee una banda, se debe regular su velocidad, verificar el buen funcionamiento del raspador y lubricarla con una pequeña cantidad de agua, con el fin de evitar segregaciones de la mezcla.

Cuando la mezcla se elabore en plantas ambulantes, la dosificación de los agregados se debe efectuar en una instalación ubicada fuera de la obra, donde las volquetas se deben cargar y deben transportar la mezcla de agregados a la tolva receptora de la planta ambulante, la cual debe estar provista de dispositivos dosificadores similares a los de las plantas continuas, los cuales deben ser sincronizados para obtener las proporciones deseadas de agregados, agua y emulsión. Los ingredientes se deben conducir a una mezcladora continua que debe verter la mezcla en la carretera. La distribución de la mezcla se debe hacer por medio de dos tornillos sinfín delante de una viga maestra niveladora, que extiende y perfila la capa.

En todos los casos en que se empleen aditivos, estos se deben unir a los agregados antes de su mezcla con la emulsión asfáltica.

En caso de que se utilicen métodos de fabricación especiales, el interventor debe aprobar previamente los procedimientos de elaboración.

440.4.7 Transporte de la mezcla

La mezcla se debe transportar a la obra en volquetas, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con la luz solar. Solamente se debe permitir el trabajo en horas de la noche, bajo las condiciones mencionadas en el numeral 440.4.15.

Durante el transporte de la mezcla, se deben tomar las precauciones necesarias para reducir al mínimo las pérdidas de humedad, cuando sea aplicable, y de los solventes volátiles de la emulsión, así como para prevenir la segregación de la mezcla.

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

440.4.8 Transferencia de la mezcla

Si el constructor dispone de una máquina para la transferencia de la mezcla asfáltica (*shuttle buggy*), la volqueta debe descargar la mezcla en la tolva de almacenamiento de la máquina, cuyas bandas transportadoras se deben encargar de alimentar la pavimentadora, sin que esta sea tocada por las llantas de la volqueta, para favorecer de esta manera la regularidad superficial.

440.4.9 Extensión de la mezcla

La mezcla asfáltica en frío se debe extender con la máquina pavimentadora, de modo que se cumpla con los alineamientos, los anchos y los espesores señalados en los documentos del proyecto.

A menos que se ordene otra cosa, la extensión debe comenzar a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior de las secciones peraltadas. La mezcla se debe

colocar en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad en la operación de extendido, teniendo en cuenta el ancho y las pendientes de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

La colocación de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, verificando que la pavimentadora deje la superficie a las cotas previstas, con el fin de no tener que corregir la capa extendida. Por ningún motivo, se debe permitir el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se debe permitir la segregación de materiales. Si ocurre, la extensión de la mezcla se debe suspender inmediatamente hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación se debe remover y reemplazar con material apropiado, a expensas del constructor.

Se debe disponer de un número suficiente de obreros especializados tras la pavimentadora, quienes deben agregar mezcla y enrasarla, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada, se ajuste enteramente a las condiciones indicadas en esta especificación.

En el caso de que la mezcla se elabore y extienda con la planta ambulante, deben ser igualmente aplicables todas estas instrucciones.

Nota: la adición y enrase de la mezcla por parte de obreros tras la máquina pavimentadora no resulta aplicable a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto.

En los sitios en los que no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras o plantas ambulantes, en especial en trabajos de bacheo, la mezcla se puede extender a mano. La mezcla se debe descargar fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se debe distribuir en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos, en una capa uniforme y de espesor tal, que una vez compactada, se ajuste a los documentos del proyecto, dentro de las tolerancias establecidas en la presente especificación.

440.4.10 Compactación de la mezcla

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.

La compactación debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas, donde el cilindro debe avanzar del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso, en la forma aceptada por el interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Los rodillos deben llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el interventor, y sus cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada.

La compactación se debe realizar, de manera continua durante la jornada de trabajo y se debe complementar con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Se debe cuidar que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos.

En los lugares inaccesibles a los equipos normales de compactación, el proceso se debe efectuar mediante máquinas de tamaño y diseño adecuado para la labor por realizar.

Cuando la mezcla tenga por objeto servir como capa de rodadura, la textura del pavimento terminado debe ser uniforme y permitir la adecuada adherencia con las llantas de los vehículos en condición de superficie húmeda.

Normalmente, la compactación de las mezclas de tipo abierto comienza con una sola pasada del rodillo vibratorio liso, con el fin de obtener la adecuada orientación del agregado. A continuación, se debe extender manualmente una capa de arena, a razón de unos cuatro kilogramos por metro cuadrado (4 kg/m^2), con el fin de eliminar la consistencia viscosa de la mezcla y, posteriormente, se debe pasar el rodillo neumático el número de veces definido en la fase de experimentación, con el fin de que la mezcla alcance un grado de firmeza aprobado por el interventor.

Durante el proceso de compactación en las mezclas abiertas, se debe aplicar un sello de arena para evitar la adhesión de las llantas de los vehículos, debido a la presencia de fluidificantes en la emulsión asfáltica. La arena debe ser natural, proveniente de trituración o una mezcla de ambas; debe estar exenta de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras materias objetables. Sus características deben ser las mismas que se exigen a los agregados para el sello de arena-asfalto, según el artículo 432.

440.4.11 Juntas de trabajo

Las juntas deben presentar la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa compactada.

Las juntas entre pavimentos nuevos y viejos, o entre trabajos realizados en días sucesivos, se deben cuidar, con el fin de asegurar su perfecta adherencia. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad, se les debe aplicar una capa uniforme y ligera de riego de liga antes de colocar la mezcla nueva, dejándola curar suficientemente.

El borde de la capa extendida con anterioridad se debe cortar verticalmente, con el fin de dejar al descubierto una superficie plana y vertical en todo su espesor, que se debe pintar como se ha indicado en el párrafo anterior. La nueva mezcla se debe extender contra la junta y se debe compactar y alisar con elementos adecuados, antes de permitir el paso sobre ella del equipo de compactación.

Las juntas transversales en la capa de rodadura se deben compactar transversalmente.

Cuando los bordes de las juntas longitudinales sean irregulares, presenten huecos o estén deficientemente compactados, se deben cortar para dejar al descubierto una superficie lisa vertical en todo el espesor de la capa. Donde el interventor lo considere necesario, se debe añadir mezcla que, después de colocada y compactada con pisones, se debe compactar mecánicamente.

Se debe procurar que las juntas de capas superpuestas guarden una separación mínima de cinco metros (5 m) en el caso de las transversales y de ciento cincuenta milímetros (150 mm), en el caso de las longitudinales.

440.4.12 Almacenamiento de mezclas asfálticas en frío

Cuando la mezcla no se vaya a emplear inmediatamente después de su fabricación, se debe

acopiar en un lugar apropiado, donde quede protegida contra la acción de lluvias que puedan lavar la película de ligante. Los acopios se deben realizar por capas de poca altura para evitar la segregación y con una disposición adecuada para prevenir su contaminación.

Si el tiempo de almacenamiento es muy largo y se forma una costra dura en la superficie del acopio, esta costra se debe retirar completamente y descartar en el momento en que se vaya a emplear la mezcla.

440.4.13 Pavimento sobre puentes y viaductos

Las losas de los puentes y los viaductos se deben pavimentar con mezcla densa en frío de la calidad exigida para la capa de rodadura, previa la aplicación del riego de liga mencionado en el numeral 440.4.3.

Durante la ejecución del riego y de la pavimentación, el constructor debe proteger con lonas, papel o similares, todas aquellas partes de los puentes y viaductos que puedan ser afectadas por el ligante bituminoso. El constructor es responsable por todo daño que causen las operaciones de sus equipos y, en consecuencia, todos los trabajos de reparación y limpieza corren por su cuenta.

440.4.14 Bacheos

Al rellenar toda excavación para reparación del pavimento existente cuya profundidad haya sido superior a ciento cincuenta milímetros (150 mm), los últimos setenta y cinco milímetros (75 mm) hasta alcanzar el nivel de la rasante existente se deben rellenar con mezcla asfáltica, la cual se debe compactar

con el equipo adecuado hasta alcanzar la densidad especificada. El resto de la excavación se debe rellenar como se establece en los numerales correspondientes a bacheo de subbase y base granulares en los artículos 320 y 330, respectivamente.

Cuando la excavación sea de profundidad menor o igual a ciento cincuenta milímetros (150 mm), se debe rellenar en su totalidad con mezcla asfáltica, en capas de espesor compactado comprendido entre cincuenta y setenta y cinco milímetros (50 mm – 75 mm), hasta alcanzar la rasante existente.

Estos espesores pueden variar, si así lo establecen los documentos del proyecto o lo autoriza el interventor, en particular cuando se trate de labores de conservación y rehabilitación de pavimentos asfálticos antiguos con estructuras complejas.

Tanto la superficie que recibe las capas asfálticas como las paredes de la excavación en contacto con ellas, se deben pintar con un riego de liga, conforme a las instrucciones del interventor.

440.4.15 Apertura al tránsito

En el caso de las mezclas de tipo denso, 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 a veinte kilómetros por hora (20 km/h), para impedir que se produzcan aceleraciones, frenadas o giros bruscos sobre la capa.

Por su parte, en las mezclas de tipo abierto, el tramo pavimentado se puede abrir al tránsito una vez que el grado de compactación alcanzado cuente con la aprobación del interventor. La velocidad de los vehículos se debe limitar a treinta kilómetros por hora (30 km/h) durante las setenta y dos horas (72 h) siguientes a la apertura al tránsito.

En los casos en que la mezcla abierta en frío se construya como capa intermedia, se puede abrir al tránsito con las mismas limitaciones, mientras se construye la capa superior, la cual no se puede colocar hasta que la mezcla abierta se encuentre totalmente curada en cuanto a la eliminación del agua y del fluidificante de la emulsión.

440.4.16 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión y la compactación de mezclas densas en frío, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie del pavimento sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra. En caso de que la mezcla sin compactar o compactada sea afectada por el agua lluvia y como resultado de ello se lave la emulsión, el constructor debe, a su costa, retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector afectado, hasta ser aprobado por el interventor.

Los trabajos de construcción de la mezcla asfáltica en frío se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y

cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe 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.

440.4.17 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.

440.4.18 Reparaciones

El constructor debe corregir, a su costa, todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como: protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con su aprobación. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

440.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

440.5.1 Controles

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

440.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

440.5.2.1 Calidad de la emulsión

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión asfáltica son los establecidos en el artículo 411.

440.5.2.2 Calidad del agua

Siempre que el interventor tenga alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada en la mezcla, debe verificar su pH y su contenido de sulfatos, cuyos valores deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 440.2.3, para permitir su empleo.

Si alguna mezcla ha sido elaborada con un agua calificada de inapropiada, se debe poner en observación, hasta el recibo definitivo de los trabajos y, en caso de que presente deterioros, se debe remover y reconstruir por cuenta exclusiva del constructor y hasta ser aprobada por el interventor. La mezcla removida es de propiedad del constructor.

Nota: los requisitos del numeral 440.5.2.2 no son aplicables a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto, ya que estas normalmente no requieren la adición de agua.

440.5.2.3 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

440.5.2.3.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto,

se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le debe realizar los ensayos indicados en la Tabla 440 — 2.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral cuando sea aplicable y para cualquier volumen previsto, se deben tomar dos (2) muestras y sobre ellas se debe determinar la densidad *bulk*, según la norma INV E-225.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 440.2.1, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

440.5.2.3.2 Control de producción

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

Además, debe efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 440 — 13 para los agregados grueso y fino, y en la Tabla 440 — 14 para el llenante mineral, si este se incorpora de manera independiente.

Tabla 440 — 13. Ensayos de verificación sobre los agregados para mezclas asfálticas en frío

Característica	Norma de Ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría combinada	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la Máquina de los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos	E-224	1 por mes
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura	E -232	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	E-237	1 por semana
Limpieza, gradación combinada (F)		
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	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%).	E-757	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	E-774	
Gravedad específica		
Gravedad específica y absorción	E-222 y E-223	1 por mes y siempre que cambie la procedencia de agregados

Nota: los requisitos de los agregados referidos a Limpieza, gradación combinada (F) y Geometría de las partículas, agregado fino (F) no son aplicables a los agregados pétreos empleados en la preparación de mezclas asfálticas en frío de tipo abierto, en la medida que la fracción de agregado fino en este tipo de mezclas es limitada.

Tabla 440 — 14. Ensayos de verificación sobre el llenante mineral de aporte para mezclas asfálticas en frío

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Granulometría	E-215	1 por suministro
Densidad bulk	E-225	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante
Vacios del llenante seco compactado (%)	E-229	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante

Nota: los requisitos de la Tabla 440 — 14 no son aplicables a mezclas asfálticas en frío de tipo abierto.

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en las Tablas 440 — 12, 440 — 13 y 440 — 14, 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 debe permitir el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos del numeral 440.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

440.5.2.4 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. Se deben rechazar todas las mezclas segregadas, así como aquellas cuya envuelta no sea homogénea.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

440.5.2.4.1 Contenido de asfalto

Para las mezclas asfálticas en frío, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma de ensayo INV E-732) sobre muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 440.5.2.6.1. Para las mezclas de tipo denso

la determinación se debe hacer sobre tres (3) muestras y para las mezclas de granulometría abierta, se debe hacer la misma determinación sobre cinco (5) muestras.

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF \% - 0,3 \% \leq ART \% \leq ARF \% + 0,3 \%$$

[440.1]

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor promedio (*ART* %), en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART \% - 0,5 \% \leq ARI \% \leq ART \% + 0,5 \%$$

[440.2]

Un porcentaje de asfalto residual promedio (*ART* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no van a existir problemas de comportamiento de la mezcla, ni de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, la capa de mezcla asfáltica en frío correspondiente al lote controlado debe ser retirada y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado es de propiedad del constructor.

440.5.2.4.2 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 440 — 5, 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 440.4.2 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 en frío correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

440.5.2.5 Calidad de la mezcla

Para las mezclas asfálticas en frío de tipo denso que se diseñan por resistencia a la compresión, la mezcla debe cumplir los requisitos de calidad expuestos en el numeral 440.5.2.5.1.

440.5.2.5.1 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra), para verificar

en el laboratorio su resistencia en el ensayo de inmersión-compresión (norma de ensayo INV E-622). Tres (3) de las probetas se deben curar en seco y tres (3) bajo condición húmeda.

Tanto la resistencia media tras curado seco como tras curado húmedo de las probetas elaboradas (R_m), deben superar, o al menos igualar, al noventa por ciento (90 %) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (R_t)

$$R_m \geq 0,90 * R_t \quad [440.3]$$

Además, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de su respectivo grupo, admitiéndose solo un valor individual por debajo de ese límite:

$$R_i \geq 0,80 * R_m \quad [440.4]$$

A su vez, la resistencia conservada promedio (R_{cm}) debe ser, como mínimo, el setenta y cinco por ciento (75 %), sin que al respecto se acepte ninguna tolerancia.

$$R_{cm} \geq 75 \% \quad [440.5]$$

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote representado por estas muestras. En este caso, la capa de mezcla densa en frío correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta contar con la aprobación del interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

El incumplimiento de este requisito en dos (2) lotes consecutivos, implica la suspensión de los trabajos hasta que se estudie y apruebe

una nueva fórmula de trabajo que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en el numeral 440.4.2.

440.5.2.6 Calidad del producto terminado

440.5.2.6.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla asfáltica en frío:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de mezcla colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Específicamente para determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), la definición de lote es la indicada en el numeral 440.5.2.6.8.

440.5.2.6.2 Aspectos generales

La capa terminada de mezcla asfáltica debe 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 puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la mezcla asfáltica compactada en capas de base no debe variar en más de quince milímetros (15 mm) de la proyectada, y la variación no puede exceder de diez milímetros (10 mm) cuando se trate de capas intermedia y de rodadura.

Todas las áreas donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, así como aquellas en que se presente retención de agua en la superficie, las debe corregir el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este, sin costo adicional para INVÍAS.

440.5.2.6.3 Compactación

Para el control de la compactación de una capa mezcla densa en frío, se debe calcular su grado de compactación. Los sitios para determinar de la densidad de la capa compactada 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. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

El grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y de los ensayos de densidad en el laboratorio, se debe calcular mediante la siguiente expresión:

$$(GC_i) = \frac{D_i}{D_e} * 100 \quad [440.6]$$

Donde:

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

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

D_e , valor promedio de los valores de densidad de las seis (6) probetas por lote, elaboradas en

el laboratorio, según la metodología de ensayo inmersión-compresión, como se indica en el numeral 440.5.2.5.1.

Solo se debe aceptar la determinación de la densidad de la capa compactada por medio del densímetro nuclear (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.

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

$GC_i(90) \geq 95,0 \%$ se acepta el lote [440.7]

$GC_i(90) < 95,0 \%$ se rechaza el lote [440.8]

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).

Las comprobaciones de la compactación se deben realizar en todo el espesor de la capa que se controla, cuando se haya cumplido sustancialmente el período de curado de la mezcla, conforme se haya determinado en la fase de experimentación. La toma de testigos se debe hacer de acuerdo con lo que establece la norma de ensayo INV E-758.

En caso de rechazo, la capa de mezcla densa en frío correspondiente al lote controlado se

debe levantar mediante fresado y debe ser repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

En el caso de las mezclas asfálticas de tipo abierto, las comprobaciones referidas a la compactación corresponden a la verificación de la actuación de los equipos de compactación, los cuales deben cumplir las disposiciones del numeral 440.3 del presente artículo.

440.5.2.6.4 Espesor

Las determinaciones de espesor de la capa compactada se deben realizar en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote. Los sitios para las mediciones se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. En el caso de las mezclas de tipo denso, se debe determinar el 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).

$$e_m \geq e_d \quad [440.9]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0,98 * e_d \quad [440.10]$$

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.

440.5.2.6.4.1 Para capas de rodadura

El constructor debe proceder 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 (50 mm) de espesor compacto, para cumplir todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas debe ejecutarlo, a su costa, en acuerdo con el artículo 421.

Si la capa adicional no cumple alguno de los requisitos de este artículo, debe ser fresada y repuesta con una nueva de calidad satisfactoria.

440.5.2.6.4.2 Para capas intermedias y de base

El constructor debe proceder a fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado salvo que, tratándose de una capa de base o intermedia sobre la cual se va a colocar otra capa de mezcla asfáltica en frío, el constructor se comprometa a compensar la deficiencia incrementando el espesor de la capa intermedia o de rodadura, respectivamente, sin que el exceso de espesor por colocar de esta última genere costo alguno para INVÍAS.

440.5.2.6.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar zonas de acumulación de agua, ni irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) en capas de rodadura o quince milímetros

(15 mm) en capas de base o intermedias y bacheos, cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m) según la norma de ensayo INV E-793. Se debe colocar la regla tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja al azar el interventor. Estos no pueden estar afectados por cambios de pendiente. Las zonas que presenten deficiencias de este tipo se deben fresar y reponer por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, y hasta contar con la aprobación del interventor. El material fresado es de propiedad del constructor.

440.5.2.6.6 Textura

Las medidas de textura se deben realizar antes de la puesta en servicio de la capa de rodadura construida con mezcla asfáltica en frío, empleando el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos a controlar por lote es de tres (3), que se deben ampliar a cinco (5) si la textura obtenida en uno de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730.

En el caso de las mezclas de tipo denso, la profundidad media de textura del lote no puede ser menor al mínimo admisible que se defina en los documentos del proyecto, el cual no puede ser inferior a cero coma treinta y cinco milímetros (0,35 mm). Ningún valor individual puede ser inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido y no pueden existir áreas con evidencias indudables de segregación.

Por su parte, para las mezclas de tipo abierto, la profundidad media de textura debe ser,

cuando menos, igual a un milímetro (1,0 mm), sin que ningún valor individual sea inferior a cero coma ocho milímetros (0,8 mm) y sin que existan áreas con evidencias indudables de segregación.

Si estos requisitos no se cumplen, la capa de rodadura correspondiente al lote controlado se debe levantar mediante fresado y debe ser repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor. Alternativamente y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo que cumpla todos los requisitos de calidad de esta especificación y con el correspondiente riego de liga, sin costo adicional para INVÍAS. Esta capa adicional debe tener un espesor:

- Igual al espesor compacto que la capa anterior en el caso de una mezcla densa.
- Igual a cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto en el caso de una mezcla abierta.

El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas se debe ejecutar en acuerdo con el artículo 421.

440.5.2.6.7 Resistencia al deslizamiento

Una vez transcurridos, como mínimo, treinta días (30 d) de la puesta en servicio, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento sobre mezclas asfálticas en frío construidas para servir como capas de rodadura.

Debido a que la resistencia al deslizamiento se encuentra relacionada directamente con la

seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que el interventor los debe ubicar en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular, en condición de superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote. Ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 440 — 14, de acuerdo con el tránsito de diseño y el tipo de sección.

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser corregida por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS. Para ello, la capa de mezcla asfáltica en frío, correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor. Alternativamente y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo, sin costo adicional para INVÍAS, de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, al cumplir todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas es también de cuenta del constructor, quien debe ejecutarlo de acuerdo con el artículo 421.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así

como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 440 — 15 para el péndulo británico.

Tabla 440 — 15. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Tipo de capa	Coeficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo		
	NT1	NT2	NT3
Glorietas; curvas con radios menores de 200 metros; pendientes $\geq 5\%$ en longitudes de 100 metros o más; intersecciones; zonas de frenado frecuente	50	55	60
Otras secciones	45	50	50

440.5.2.6.8 Regularidad superficial

El IRI se debe comprobar de manera continua, en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, este artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar, únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial.

Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión, en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar de acuerdo con la norma ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores del IRI se deben presentar en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituye un lote.

No debe haber exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, donde se entiende por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, reductores de velocidad, etc., los cuales debe definir el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación del IRI.

Se debe entender que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 440 — 16.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados del IRI exceden los límites especificados no es superior a veinte por ciento (20 %) del total del lote, el interventor debe delimitar los sectores relevantes en el incumplimiento y ordenar su corrección mediante fresado y la colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica. El interventor debe establecer los espesores por fresar y reponer en cada tramo, y todos los costos que impliquen estas correcciones deben ser asumidos por

el constructor. El material fresado es de propiedad del constructor.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados de IRI exceden los límites especificados es más de veinte por ciento (20 %) del total del lote, toda la longitud de este se debe fresar y reponer en el mismo espesor. El fresado, traslado y disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa, con la calidad exigida por el presente artículo, deben estar a cargo del constructor. El material demolido es de propiedad del constructor. Este, a su vez, no puede invocar las reparaciones o las reconstrucciones debidas a deficiencias en la regularidad superficial, como causal para incumplir el programa de trabajo.

Tabla 440 — 16. Valores máximos admisibles de IRI (m/km)

Porcentaje (%) de hectómetros	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 10 cm			Pavimentos rehabilitados en espesor ≤ 10 cm		
	NT1	NT2	NT3	NT1	NT2	NT3
40	2,4	1,9	1,4	2,9	2,4	1,9
80	3,0	2,5	2,0	3,5	3,0	2,5
100	3,5	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0

440.5.2.6.9 Construcción de capas de renivelación

Cuando la mezcla asfáltica en frío se emplee en la construcción de capas de renivelación de un pavimento existente, dicha mezcla debe cumplir los mismos requisitos que se exigen cuando se coloca como capa de base, si su espesor compacto es mayor o igual a setenta y cinco milímetros (75 mm). En caso contrario, debe cumplir los requisitos exigidos a la capa intermedia.

En el caso de las mezclas asfálticas de tipo abierto, se deben cumplir los requisitos exigidos para capas intermedias, en la medida que estas no se pueden emplear como capa de base asfáltica.

440.5.2.6.10 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa de mezcla asfáltica en frío por

modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar el pago al constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

440.5.2.6.11 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la homogeneidad de la estructura construida al nivel de la capa de mezcla asfáltica en frío, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797, de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a este. Los resultados de las medidas, que se realizan en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no constituyen base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que sirven a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye, y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios al diseño estructural del pavimento.

En todo caso, se recomienda en la medida de lo posible, que no se emplee la Viga Benkelman para las mediciones de las deflexiones de la capa, especialmente en niveles de tránsito altos como el NT3.

440.6 Medida

Rige lo descrito en el artículo 400 y en particular en el numeral 400.6.2. Para bacheos, se debe aplicar lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo artículo.

440.7 Forma de pago

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

Se excluyen del precio unitario el suministro y el almacenamiento de la emulsión para la mezcla, que se deben pagar de acuerdo con el artículo 411.

440.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
440.1	Mezcla densa en frío tipo MDF-38	Metro cúbico (m ³)
440.2	Mezcla densa en frío tipo MDF-25	Metro cúbico (m ³)
440.3	Mezcla densa en frío tipo MDF-19	Metro cúbico (m ³)
440.4	Mezcla densa en frío para bacheo	Metro cúbico (m ³)
440.5	Mezcla abierta en frío tipo MAF-19	Metro cúbico (m ³)
440.6	Mezcla abierta en frío tipo MAF-25	Metro cúbico (m ³)
440.7	Mezcla abierta en frío tipo MAF-38	Metro cúbico (m ³)
440.8	Mezcla abierta en frío tipo MAF-38 para bacheo	Metro cúbico (m ³)

Mezcla densa en frío con asfalto natural

Artículo 442 - 22

442.1 Descripción

Este trabajo consiste en la explotación, la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una o más capas de mezcla asfáltica natural con agregados pétreos de aporte de gradación continua, preparada y colocada en frío en vías para un nivel de tránsito NT1, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

Aunque en la generalidad de los proyectos de vías con niveles de tránsito NT1, las mezclas densas en frío con asfalto natural se utilizan para capa de rodadura, dentro de los documentos del proyecto debe quedar establecido el tipo de capa asfáltica a utilizar en función de su posición dentro de la estructura del pavimento, de conformidad con lo indicado en la Tabla 442 – 1, señalando si se requiere una o más capas construidas con este tipo de mezcla.

Tabla 442 – 1 Denominación de las capas asfálticas construidas con mezclas densa en frío con asfalto natural

Tipo	Descripción
Rodadura	Capa superior
Intermedia	Capa subyacente a la rodadura, en estructuras con 2 o más capas asfálticas
Base	Capa o capas subyacentes a la intermedia, en estructuras con 3 o más capas asfálticas

442.2 Materiales

442.2.1 Mezcla asfáltica natural

La mezcla asfáltica natural es un material compuesto esencialmente por arenas finas y conglomerado que están impregnados de ligante asfáltico, cuyo proceso se ha realizado en el interior de los depósitos naturales y de manera igualmente natural por muchos años, siendo este parámetro común para la mayoría

de los depósitos que se encuentran en el territorio colombiano. El contenido de asfalto residual puede variar según el origen y la fuente de explotación. El material pétreo presente en la mezcla asfáltica natural deberá estar exento de materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial.

442.2.2 Material bituminoso

Corresponde al contenido de ligante asfáltico existente en la mezcla asfáltica natural. En

caso de que sea necesario se puede adicionar una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, de los tipos CRL-57 o CRL-57h, que cumpla los requisitos de calidad establecidos en el artículo 411, Suministro de emulsión asfáltica catiónica, (Tabla 411 – 1), y que sea compatible con los agregados pétreos de aporte por emplear.

442.2.3 Agregados pétreos

Cuando aplique, los agregados pétreos de aporte utilizados para el presente artículo deben satisfacer plenamente los requisitos establecidos en el numeral 400.2.1 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, de las presentes especificaciones.

De otra parte, la distribución granulométrica de los agregados pétreos que componen la mezcla asfáltica en su estado natural (tal como sale de la mina) debe tener un tamaño máximo de

diecinueve milímetros (19 mm) (3/4”) y únicamente se acepta si la mezcla asfáltica natural cumple con todos y cada uno de los requerimientos exigidos en la Tabla 442 – 8. De igual manera, la estructura de los agregados pétreos resultante de la combinación de las distintas fracciones del material de aporte con la mezcla asfáltica natural seleccionada (granulometría combinada) para la construcción de la capa asfáltica, deben presentar una gradación que se ajuste a alguna de las franjas señaladas en la Tabla 442 –2 y no exceder sus límites. El análisis granulométrico se debe efectuar de acuerdo con la norma de ensayo INV E–213.

La gradación por emplear se debe indicar en los documentos del proyecto. El constructor debe proponer al interventor una fórmula de trabajo la cual se debe ajustar durante la construcción de la capa con las tolerancias que se indican en la Tabla 442 – 2, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

Tabla 442 – 2 Franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción capas asfálticas con una mezcla densa en frío con asfalto natural

Tipo de mezcla	Tamiz (mm/ U.S Standard)								
	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	0,300	0,075
	1½ Pulgadas	1 Pulgada	¾ Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 50	Nro. 200
Pasa tamiz (%)									
MAN-38	100	80 – 95	–	62 – 77	–	45 – 60	35 – 50	13 – 23	3 – 8
MAN-25	–	100	80 – 95	–	60 – 75	47 – 62	35 – 50	13 – 23	3 – 8
MAN-19	–	–	100	80 – 95	–	50 – 65	35 – 50	13 – 23	3 – 8
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4 %						3 %		1 %

Nota: Se pueden emplear franjas granulométricas con tamaños máximos menores a diecinueve milímetros (19 mm) (3/4”), empleando arenas de trituración con tamaños máximos de nueve coma cinco milímetros (9,5 mm) (3/8”) provenientes de agregados que cumplan los requisitos de la Tabla 442 – 3, si se demuestra que la granulometría combinada es continua y cumple todos los requisitos de calidad de la presente especificación. Además, se indique en los documentos del proyecto que en la zona de los trabajos existe experiencia de su eficiencia y durabilidad.

Los agregados pétreos resultantes no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico - química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente puedan darse en la zona de empleo. Tampoco pueden

dar origen a disoluciones cuando estos entren en contacto con el agua, que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua, y deben cumplir los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 442 – 3.

Tabla 442 – 3 Requisitos de agregados pétreos de aporte combinados para una mezcla densa en frío con asfalto natural

Característica	Norma de Ensayo INV	Requisito
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%) - Capa de: rodadura / intermedia / base	E-218	25 / 35 / -
Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo	E-232	45
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%)	E-220	18
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	0,5
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	7
Equivalente de arena, mínimo (%) (Nota 1)	E-133	50
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240	10
Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara: rodadura / intermedia / base - Dos caras: rodadura / intermedia / base	E-227	75 / 60 / - - / - / -
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%) - Capa de: rodadura / intermedia / base	E-239	40 / 35 / -
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, (%)	E-757	Reportar
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo	E-774	4

Nota 1: El equivalente de arena es 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. En caso de que no se cumpla el valor mínimo señalado en la tabla, el agregado se acepta si su equivalente de arena es superior a cuarenta por ciento (40%) y, simultáneamente, el valor de azul de metileno determinado mediante la norma de ensayo INV E- 235, es inferior a diez (10).

Independientemente de su procedencia, los agregados deben estar exentos de materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otra sustancia perjudicial que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa asfáltica.

El constructor como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos debe 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 las presentes especificaciones.

El tipo de gradación por emplear depende de la clase y espesor que vaya a tener la capa compactada y se define en los documentos del proyecto. Teniendo en cuenta que esta mezcla debe tener una distribución granulométrica densa, se recomienda seguir los criterios establecidos en la Tabla 442 – 4.

Tabla 442 – 4 Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo de capa y su espesor compacto

Tipo de capa	Espesor compacto (mm)	Tipo de mezcla
Rodadura	50 - 75 40 - 50	MAN-25 MAN-19
Intermedia	≥ 50	MAN-25
Base	≥ 75	MAN-38

442.2.4 Agua

El agua que se requiera debe ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias perjudiciales.

Puede ser agua potable; si no lo es, debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 442 – 6.

Tabla 442-6 Requisitos del agua no potable para la construcción de subbase y base estabilizada con una mezcla asfáltica natural

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH	D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄ ²⁻ , máximo (kg/m ³)	D516	1,0

442.3 Equipo

Al respecto rigen las condiciones generales que se indican en el numeral 400.3 del artículo 400. Para la construcción de las capas asfálticas con

mezcla densa en frío con asfalto natural se requieren, además, equipos para la explotación de los materiales, eventualmente una planta de trituración, una unidad clasificadora, equipos para mezclado y homogenización, cargue, transporte, extensión, humedecimiento y

compactación del material; equipos, para la elaboración, extensión, compactación y nivelación de la mezcla, así como herramientas menores.

Se deben utilizar compactadores autopropulsados de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios, de neumáticos o mixtos. El equipo de compactación debe ser aprobado por el interventor de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación. Como mínimo se deben poner a disposición de los trabajos un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixto y uno (1) de llantas neumáticas. Todos los compactadores deben ser autopropulsados y estar dotados de inversores de marcha suaves; además, deben estar 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 deben presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios deben disponer de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático. Los de neumáticos deben tener 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, deben ser las necesarias para conseguir la compactación adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor sin producir roturas del agregado.

Se permite 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.

Todos los equipos deben ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requerir la aprobación previa del interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cabal cumplimiento de las exigencias de la presente especificación y a la respectiva partida de pago.

442.4 Ejecución de los trabajos

442.4.1 Explotación de materiales y elaboración de la mezcla densa en frío con asfalto natural

Rige lo establecido en el artículo 105, Desarrollo de los trabajos, numeral 105.13.3. En la explotación de la mezcla asfáltica natural se debe hacer la respectiva clasificación del material con el fin de evitar sobretamaños, materiales fósiles u otros elementos nocivos o contaminantes para la capa a conformar o cualquier otra sustancia que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la mezcla densa en frío con asfalto natural.

Los procedimientos y equipos de explotación, clasificación y el sistema de almacenamiento, deben garantizar el suministro de un producto con características uniformes. El retiro de sobretamaños debe obligatoriamente realizarse en el lugar de explotación del material, con la utilización de los equipos necesarios para tal fin, al igual que los trabajos de clasificación de este.

Cuando se requiera adicionar material pétreo a la mezcla para mejorar sus características físico - mecánicas, dicho material debe proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas. El agregado fino debe proceder en su totalidad de la

trituration de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. Adicionalmente, los procedimientos y equipos de explotación, clasificación, trituración, lavado y el sistema de almacenamiento, deben garantizar el suministro de un producto de características uniformes, según sea exigido en los documentos del proyecto.

Los lugares que sean explotados en forma específica y exclusivamente para los trabajos en cuestión deben recuperarse en su totalidad con vegetación nativa de la zona y debe cumplirse con todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

442.4.2 Diseño de la mezcla densa en frío con asfalto natural y obtención de la fórmula de trabajo

442.4.2.1 Generalidades

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

Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el constructor debe suministrar, para verificación del interventor, muestras de los materiales que propone usar, avaladas por los resultados de ensayos que demuestren la conveniencia de utilizarlos. Si a juicio del interventor los materiales resultan objetables, el constructor debe efectuar las modificaciones necesarias para corregir las deficiencias. Una vez el interventor manifieste su conformidad con los materiales, el constructor debe definir la fórmula de trabajo para determinar las proporciones de los materiales utilizados y los parámetros de compactación que permitan cumplir con los requerimientos exigidos a la capa asfáltica construida. Una vez el interventor manifieste su conformidad con los materiales y el diseño de la mezcla, este solo puede ser modificado durante la ejecución de los trabajos

si se presenta una variación inevitable en alguno de los componentes que intervienen en ella.

Las mezclas por utilizar en la construcción de las capas asfálticas se deben diseñar utilizando el método inmersión – compresión siguiendo el procedimiento definido por la norma de ensayo INV E-622 o por el método Marshall Modificado para asfaltos líquidos del Instituto Norteamericano del Asfalto indicado en el apéndice H del Manual MS-14, según la alternativa definida.

442.4.2.2 Diseño de la mezcla

Las mezclas asfálticas naturales pueden utilizarse tal como salen de la mina sin necesidad de adicionar agregados pétreos de aporte y/o un ligante asfáltico tipo emulsión catiónica de rotura lenta, siempre y cuando cumpla con todos los requerimientos exigidos en la Tabla 442 – 8. En caso de que la mezcla asfáltica natural no cumpla con algunos de los requerimientos exigidos en la Tabla 442 – 8, se recomienda evaluar alguna de las siguientes dos (2) alternativas de mejoramiento (mezcla densa en frío con asfalto natural):

- a) **Mezcla asfáltica natural con la adición de un agregado de aporte.** Es aplicable cuando se tengan mezclas asfálticas naturales con altos contenidos de ligante asfáltico (mayor al 10%) que por sí solas no cumplan alguno de los requerimientos especificados, siendo necesario mejorar la estructura interparticular mediante la adición de un agregado de aporte.
- b) **Mezcla asfáltica natural adicionando un agregado de aporte y una emulsión asfáltica.** Aplicable a mezclas con bajos contenidos de ligante que no cumplan alguno de los requerimientos especificados, siendo necesario mejorar la estructura interparticular mediante la adición de un agregado de aporte e

incrementar la cohesión mediante la adición de un ligante asfáltico provisto por una emulsión asfáltica de rotura lenta.

442.4.2.2.1 Evaluación de las mezclas asfálticas en su estado natural (tal como sale de la mina)

La evaluación de las propiedades de la mezcla asfáltica resultante se debe realizar siguiendo el método Marshall modificado para asfaltos líquidos del Instituto Norteamericano del asfalto indicado en el apéndice H del Manual MS-14,

siguiendo los pasos indicados en la Tabla 442 – 7 (ver Anexo A).

442.4.2.2.2 Evaluación de la mezcla asfáltica natural con la adición de un agregado de aporte (Mezcla densa en frío con asfalto natural)

Se debe aplicar todo lo referente al numeral anterior.

Tabla 442 – 7 Pasos para diseñar mezclas asfálticas en su estado natural o con la adición de un agregado de aporte.

Pasos	Descripción	Numeral
Diseño preliminar	- Selección de la mezcla asfáltica natural y/o contenido de material granular de aporte	442.4.2.2.2.1
	- Contenido de ligante asfáltico teórico de referencia en la mezcla asfáltica natural INV E-741	
Análisis volumétrico y Diseño por resistencia	- Análisis de densidad y vacíos (ver anexo A, numeral 4)	442.4.2.2.2.2
	- Estabilidad y flujo Marshall (ver anexo A, numeral 5)	
Verificación del diseño	- Susceptibilidad al agua Estabilidad Retenida (ver anexo A, numeral 6)	442.4.2.2.2.3

442.4.2.2.2.1 Diseño preliminar

La mezcla asfáltica natural y las proporciones de material granular de aporte, en caso de que sea necesario, se deben fijar basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos y/o mediante la determinación del contenido de ligante asfáltico necesario para satisfacer los requerimientos granulométricos, teniendo en cuenta que las partículas de agregado deben estar cubiertos de una película con un espesor tal, que garantice la cohesión, impermeabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica natural. Se recomienda utilizar el método de superficie específica del agregado, determinado mediante la norma INV E-741, para definir el contenido de asfalto teórico que debería estar presente en la mezcla asfáltica seleccionada.

442.4.2.2.2.2 Análisis volumétrico y diseño por resistencia

Seleccionados los materiales, se recomienda evaluar al menos cuatro mezclas con diferentes contenidos de ligante (dos por encima y dos por debajo del óptimo teórico de referencia) utilizando el método y criterios recomendados por el método Marshall Modificado del Instituto Norteamericano del asfalto indicado en el apéndice H del Manual MS-14.

En caso de que a la mezcla asfáltica seleccionada se le adicione un agregado de aporte, se debe realizar la mezcla de los dos materiales a la temperatura que garantice una viscosidad del ligante asfáltico entre cero coma quince y cero coma diecisiete pascales por segundo (0,15 Pa·s – 0,17 Pa·s) (1,5 – 1,7 poises), obtenida de la respectiva curva reológica del ligante asfáltico y preparar al

menos tres (3) muestras para cada mezcla seleccionada.

Una vez se alcance una viscosidad del ligante asfáltico natural entre cero coma veinticinco y cero coma treinta y un pascales por segundo (0,25 Pa·s – 0,31 Pa·s) (2,5 y 3,1 poises), se procede a compactar al menos tres (3) probetas, siguiendo la metodología definida por el método Marshall. Posteriormente se realiza el análisis de densidad y vacíos a cada briqueta, y se determina la estabilidad y el flujo Marshall a una temperatura de veinticinco grados Celsius (25 °C) (ver anexo A).

442.4.2.2.3 Verificación del diseño

La(s) mezcla(s) asfáltica(s) seleccionada(s) que cumplan con los requerimientos volumétricos, estabilidad y flujo exigidos por el método Marshall modificado del Instituto Norteamericano del Asfalto, deben ser evaluadas mediante la medida de la susceptibilidad a la acción del agua, a través de la estabilidad conservada, según lo indicado en el método de diseño (ver anexo A, numeral A6).

La mezcla densa en frío con asfalto natural por utilizar debe ser aquella que permita cumplir con todos los requerimientos exigidos en la Tabla 442 – 8.

Tabla 442 – 8 Criterios Marshall del Instituto Norteamericano del Asfalto

Características	Mínimo	Promedio	Máximo
Grado de curado			
% solvente evaporado			
Para mantenimiento		25	
Para pavimentación		50	
Numero de golpes por capa		75	
% Vacíos en la mezcla	3	-	5
% Vacíos en los agregados (VAM)	Ver Tabla 442 – 9		
Estabilidad (25 °C) (N)			
Para mantenimiento	2 224		
Para pavimentación	3 336		
Flujo (25 °C) (mm)	2		4
Estabilidad residual después de inmersión durante 4 días a 25 °C	75		

Tabla 442 – 9 Porcentaje mínimo de vacíos en los agregados (VAM), considerando su Tamaño Máximo

Tamiz	Mínimo % de vacíos
1 pulgada	13
3/4 pulgada	14
1/2 pulgada	15
3/8 pulgada	16
Nro. 4	18
Nro. 8	21
Nro. 16	23,5

442.4.2.2.3 Evaluación de una mezcla asfáltica natural adicionando un agregado de aporte y una emulsión asfáltica (Mezcla densa en frío con asfalto natural)

Las mezclas densas en frío con asfalto natural

se deben diseñar por el método inmersión-compresión siguiendo el procedimiento definido por la norma de ensayo INV E-622 y los pasos descritos en la Tabla 442 – 10. El ligante asfáltico debe cumplir con los requerimientos definidos en el numeral 442.2.2 de esta especificación.

Tabla 442- 10 Pasos para el diseño de las mezclas asfálticas naturales con adición de agregado pétreo y ligante asfáltico

Pasos	Descripción	Numeral
Diseño preliminar	- Contenido de agua preenvuelta	442.4.2.2.3.1
	- Contenido de ligante	
	- Humedad de compactación	
Diseño por resistencia	Prueba de inmersión-compresión	442.4.2.2.3.2

442.4.2.2.3.1 Diseño preliminar

Los contenidos de agua de preenvuelta y de ligante se deben fijar en función de los materiales por emplear, basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos. Adicionalmente, se deben hacer las determinaciones indicadas en la Tabla 442 – 11.

442.4.2.2.3.2 Diseño por resistencia

Se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos cuatro (4) contenidos de ligante), para someterlas al ensayo de inmersión-compresión. El contenido óptimo de ligante se debe determinar aplicando los criterios mencionados en la Tabla 442 – 12.

Tabla 442 – 11 Determinaciones para el diseño preliminar de mezclas asfálticas, mezclas asfálticas naturales con adición de agregado pétreo y ligante asfáltico

Parámetro	Norma de ensayo INV	Comentarios
Humedad de compactación	E-142	Se determina la humedad óptima
Contenido óptimo teórico de ligante, utilizando métodos basados en la superficie específica de los agregados	E-741	Con la norma se determina la superficie específica del agregado y se aplica una constante de riqueza apropiada.

Tabla 442 – 12 Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de ligante

Parámetro	Norma de ensayo INV	Valor
Resistencia seca R_s , mínimo (MPa)	E-622	2,5
Resistencia húmeda R_h , mínimo (MPa)		2,0
Resistencia conservada $R_c = R_h/R_s$, mínimo (%)		75

El porcentaje óptimo de ligante es aquel que permita cumplir con todos los requerimientos exigidos en la Tabla 442 – 12.

442.4.2.3 Informe de diseño de la mezcla

El informe de diseño que presente el constructor, en el cual debe proponer la fórmula de trabajo por aplicar en cada tramo homogéneo para consideración y eventual aprobación del interventor, debe contener cuando menos, la siguiente información:

- Porcentaje de ligante asfáltico en la dosificación de diseño, con relación a la masa seca del componente mineral
- Porcentaje de agua para compactación, con relación a la masa seca del componente mineral
- Resistencias a la compresión obtenidas en la prueba de inmersión - compresión
- Masa unitaria seca máxima y humedad óptima correspondientes a la dosificación de diseño
- Parámetros Marshall obtenidos
- Tipo de ligante asfáltico por adicionar
- Resultados de los ensayos complementarios que indiquen los documentos del proyecto

442.4.2.4 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 varía la procedencia 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.

Los trabajos no se pueden iniciar a escala

industrial, si la fórmula de trabajo definitiva para cada tramo no ha sido aprobada por el interventor. La aprobación de la fórmula de trabajo por parte del interventor no exime al constructor de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida en este artículo.

442.4.3 Preparación de la superficie existente

La mezcla obtenida en la fórmula de trabajo no se debe extender hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar esta, tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Las irregularidades que presente el material sobre el cual se va a colocar la mezcla no pueden exceder las tolerancias establecidas en la especificación general correspondiente, de ser así, deben ser corregidas.

Si la extensión de la mezcla necesita riegos previos de imprimación o de liga, ellos se deben realizar conforme lo establecen los artículos 420, Riego de imprimación y 421, Riego de liga, respectivamente.

Antes de aplicar la mezcla se debe verificar 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 debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya disminuido en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el constructor debe efectuar un riego adicional de adherencia en la cuantía analizada por este y aprobada por el interventor. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor, el nuevo riego debe realizarlo sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales

adecuados para restablecer el nivel actual, se deben ejecutar de acuerdo con las indicaciones del artículo 465, Excavación para reparación de pavimento asfáltico existente, y de los artículos que correspondan a los materiales empleados en el relleno de esta.

Si la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que, de acuerdo con los documentos del proyecto requiera un fresado previo, este se debe realizar conforme se establece en el artículo 460, Fresado de pavimento asfáltico.

En todos los casos debe estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios para el drenaje de la calzada de conformidad con los documentos del proyecto, previamente a la colocación de la mezcla.

442.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

Al comienzo de los trabajos, el constructor debe elaborar secciones de prueba cuya longitud, ancho y espesor deben quedar definidos en acuerdo con el interventor, para probar tanto el equipo como los materiales, y así establecer el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación.

El interventor debe tomar muestras de la mezcla asfáltica para determinar su conformidad en relación con las condiciones específicas determinadas en la fórmula de trabajo.

En caso de que los ensayos indiquen que la mezcla asfáltica no se ajusta a dichas condiciones, el constructor debe hacer inmediatamente todas las correcciones necesarias y, si fuere preciso, debe modificar la fórmula de trabajo, repitiéndose las secciones

de ensayo una vez efectuadas las correcciones hasta que ellas sean aprobadas por el interventor.

442.4.5 Transporte y almacenamiento de los agregados pétreos de aporte y de la mezcla asfáltica natural

Todos los vehículos de transporte deben cumplir con las legislaciones vigentes referentes a las dimensiones y pesos de los vehículos, a las condiciones técnico - mecánicas y a las de control de emisión de contaminantes. Para ello deben tener al día los respectivos certificados de revisión.

Tanto los agregados pétreos de aporte como la mezcla asfáltica natural se deben transportar a la planta de mezclado o a la vía en volquetas de platón liso y estanco, debidamente acondicionadas para tal fin.

La mezcla asfáltica natural se puede acopiar, ya sea a lo largo de la vía a intervenir o en una zona aledaña a la misma, para después movilizarla en volquetas cuidando que no pierda sus condiciones de calidad. Si el material está expuesto a condiciones climáticas adversas deben tomarse las precauciones que se estimen convenientes para garantizar que la calidad de esta se afecte.

Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de ellos. Los acopios se deben construir por capas de espesor no superior a uno coma cinco metros (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

En caso de que se detecten anomalías en el suministro, los agregados pétreos de aporte se deben acopiar por separado hasta confirmar su

aceptabilidad. Esta misma medida se debe aplicar cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado pétreo de aporte o de una fuente de extracción de la mezcla asfáltica natural.

442.4.6 Fabricación de la mezcla densa en frío con asfalto natural

Al respecto se considera lo que resulte aplicable del artículo 440, Mezclas asfálticas en frío (densa y abierta) numeral 440.4.6.

Se recomienda elaborar la mezcla densa en frío con asfalto natural en una planta mezcladora fija o móvil, de tipo continuo o discontinuo, teniendo en cuenta que su capacidad debe ser compatible con los procedimientos de construcción adoptados al programa de ejecución específico de las obras.

Las aberturas de salida de las tolvas se deben regular de forma que la mezcla de los agregados pétreos de aporte y la mezcla asfáltica natural se ajusten a la fórmula de trabajo definida con anterioridad. De igual manera, los dosificadores de ligante bituminoso deben estar sincronizados para que se pueda reproducir la cantidad aprobada en el diseño.

El interventor debe aprobar por escrito el sector sobre el cual se deben distribuir los materiales, cuando la mezcla entre el agregado pétreo de aporte y la mezcla asfáltica natural se realice en la vía o sobre una superficie previamente compactada e imprimada o habilitada para mezclar sobre ella los materiales y el ligante asfáltico, sin que exista algún riesgo de contaminación.

Cuando la mezcla entre el agregado pétreo de aporte y la mezcla asfáltica natural se realice en la vía, el interventor debe aprobar por escrito el sector sobre el cual se van a homogenizar los materiales mediante las siguientes

opciones: planta de mezcla, maquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio y motoniveladora. Sin los documentos del proyecto no indican el equipo por utilizar, se debe dar por definido el uso de una maquina estabilizadora con cámara de tambor rotatorio de paso sencillo. Solo se debe permitir el uso de motoniveladora para la mezcla cuando los documentos del proyecto lo señalen taxativamente. Cualquiera que sea la forma utilizada, los materiales deben ser mezclados uniformemente y para ello debe distribuirse en dos cordones separados, verificando en cada uno de ellos la cantidad y la uniformidad de tal manera que garantice la obtención de la granulometría combinada definida en la fórmula de trabajo. Previa verificación de la humedad, se debe incorporar la cantidad debida de agua y ligante bituminoso, según sea necesario, y se efectúa la mezcla correspondiente, perfilando la superficie de modo que presente, aproximadamente, la sección indicada en los documentos del proyecto.

La mezcla en vía es ventajosa en aquellos casos en que no se disponga de plantas mezcladoras centrales, o en los que el tamaño del proyecto no justifique el empleo de las plantas, pero se debe usar únicamente si las condiciones de clima y de control de calidad son apropiadas.

La mezcla entre el agregado pétreo de aporte y la mezcla asfáltica natural se puede también elaborar en centros de acopio, utilizando un cargador o con un equipo capaz de homogenizar los materiales, en la proporción resultante del diseño. Para ello se deben tomar los materiales de los acopios correspondientes, los cuales deben cuidarse de que no propicien segregación ni contaminación alguna.

En caso de requerirse equipo diferente al mencionado y/o no contar con el equipo aquí indicado, este puede ser reemplazado por

aquel que el constructor considere apropiado y debe ser aprobado por el interventor.

Se pueden permitir instalaciones de diferente concepción a las descritas, siempre que se cuente con la aceptación del interventor y previos ensayos que demuestren la calidad de la mezcla producida. En caso de que se utilicen métodos de fabricación especiales, el interventor debe aprobar previamente los procedimientos de elaboración.

442.4.7 Transporte de la mezcla

Si la mezcla es elaborada en una zona aledaña, un patio de mezclado o en una planta, se debe transportar a la vía en volquetas acondicionadas para tal fin. Durante el transporte de la mezcla se deben tomar las precauciones necesarias para reducir al mínimo la segregación y garantizar la uniformidad de la granulometría. La mezcla elaborada en el patio se debe transportar a la vía en volquetas hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Solamente se debe permitir el trabajo en horas de la noche si, a juicio del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de la mezcla de manera adecuada. El trabajo en horas de la noche solo se debe permitir bajo las condiciones mencionadas en el numeral 442.4.14 de la presente especificación.

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

442.4.8 Extensión de la mezcla

Después de las operaciones de mezclado y eventual transporte, la mezcla asfáltica se debe extender preferiblemente con la máquina pavimentadora, de modo que después de compactada, se ajuste a la sección transversal y espesores señalados en los documentos del proyecto. Dependiendo de la importancia del proyecto y en caso de no disponer de este equipo, se permite su extensión con una motoniveladora, previa autorización del interventor.

Una vez que se verifique que la mezcla tiene la humedad óptima de apisonado (en caso de la adición de una emulsión asfáltica) se debe realizar la compactación mediante el procedimiento definido durante la fase de experimentación, hasta alcanzar los niveles de densidad exigidos.

A no ser que se indique algo contrario, la extensión debe comenzar a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior de las secciones peraltadas. La colocación de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, verificando que la pavimentadora deje la superficie a las cotas previstas, con el fin de no tener que corregir la capa extendida. Por ningún motivo se permite el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella. Tampoco se debe permitir la segregación de materiales. Si esto ocurre, la extensión de la mezcla debe ser suspendida inmediatamente hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación debe ser removida y reemplazada con material apropiado por parte del constructor, sin costo adicional para INVÍAS.

Tras la pavimentadora se debe disponer un número suficiente de obreros debidamente capacitados, agregando mezcla 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.

La mezcla se debe colocar en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad en la operación de extendido, teniendo en cuenta el ancho y las pendientes de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

442.4.9 Compactación

La compactación de la mezcla se debe realizar de acuerdo con el plan aprobado por el interventor como resultado de la fase de experimentación. Debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado debe avanzar 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 se haya compactado. Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el interventor y sus cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada.

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

Se debe tener cuidado que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos. En los lugares inaccesibles

a los equipos normales de compactación, el proceso se debe efectuar mediante máquinas de tamaño y diseño adecuados para la labor por realizar. En las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo aprobado durante la fase de experimentación, la mezcla se debe extender y compactar con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación.

Cuando la mezcla tenga por objeto servir como capa de rodadura, la textura del pavimento terminado debe ser uniforme y permitir una adecuada adherencia con las llantas de los vehículos en condición de superficie húmeda.

Independientemente del tipo de compactadores empleados, la compactación final se debe realizar con equipo neumático para eliminar las huellas de los rodillos lisos y la motoniveladora.

442.4.10 Juntas de trabajo

Al respecto, rige todo lo que resulte aplicable del numeral 440.4.11 del artículo 440. Todas las juntas de trabajo se deben disponer de forma que su borde quede vertical, cortando parte de la capa terminada. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad se les debe aplicar una capa uniforme y delgada de emulsión asfáltica, antes de colocar la mezcla nueva, de acuerdo con lo previsto en el artículo 421. La nueva mezcla se debe extender contra la junta y se debe compactar y alisar con elementos adecuados, antes de permitir el paso sobre ella del equipo de compactación.

Las juntas transversales en la capa de rodadura se deben compactar transversalmente.

Si se trabaja por franjas, se deben disponer

juntas longitudinales en todos los casos en que transcurra más de una jornada entre las operaciones en franjas contiguas. En lo posible, la mezcla se debe colocar en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad de las operaciones de extendido, teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la terminadora y la producción del material. Cuando los bordes de las juntas longitudinales sean irregulares, presenten huecos o estén deficientemente compactados, se deben cortar para dejar al descubierto una superficie lisa vertical en todo el espesor de la capa.

Donde el interventor lo considere necesario, se debe añadir mezcla que, después de colocada y compactada con pisones, se debe compactar mecánicamente.

La junta longitudinal se debe calentar luego de la rotura de la emulsión del riego de liga, previamente a la extensión de la siguiente franja contra ella. Las juntas deben presentar la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa compactada.

Cuando se emplee la pavimentadora, opción recomendada, se debe regular 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 sección transversal indicadas en los documentos del proyecto con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se permite el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se debe permitir la segregación de la mezcla. Si ello ocurre, la extensión de la mezcla se debe suspender inmediatamente hasta que se determine y corrija su causa.

Toda área segregada que no se corrija antes de la compactación se debe remover y reemplazar con material apropiado, a expensas del constructor.

La extensión de la mezcla se debe realizar con la mayor continuidad posible, verificando dejar la superficie a las cotas previstas, con el objeto de no tener que corregir la capa colocada.

442.4.11 Pavimento sobre puentes y viaductos

Siempre y cuando se garantice una buena adherencia entre la mezcla asfáltica y la losa de concreto de un puente o pontón, se puede pavimentar con la mezcla asfáltica de la calidad exigida para la capa de rodadura, previa aplicación del riego de liga mencionado en el numeral 442.4.3.

Durante la ejecución del riego y de la pavimentación el constructor debe proteger con lonas, papel o similares, todas aquellas partes de los puentes y pontones que puedan ser afectadas por el ligante bituminoso.

El constructor es responsable por todo daño que causen las operaciones de sus equipos y, en consecuencia, todos los trabajos de reparación y limpieza corren por su cuenta.

442.4.12 Bacheos

Al rellenar toda excavación para reparación del pavimento existente cuya profundidad haya sido superior a ciento cincuenta milímetros (150 mm), los últimos setenta y cinco milímetros (75 mm), hasta alcanzar el nivel de la rasante existente, se deben rellenar con mezcla asfáltica, la cual se debe compactar con el equipo adecuado hasta alcanzar la densidad especificada. El resto de la excavación se debe rellenar como se establece en los numerales correspondientes a bacheo de subbase y base

granular en los artículos 320, Subbase granular y 330, Base granular, respectivamente.

Cuando la excavación sea de profundidad menor o igual a ciento cincuenta milímetros (150 mm), se debe rellenar en su totalidad con mezcla asfáltica, en capas de espesor compactado comprendido entre cincuenta y setenta y cinco milímetros (50 – 75 mm) hasta alcanzar la rasante existente. Estos espesores pueden variar especialmente, si así lo establecen los documentos del proyecto, cuando se trate de labores de conservación y rehabilitación de pavimentos asfálticos antiguos con estructuras complejas.

Tanto la superficie que recibe las capas asfálticas como las paredes de la excavación en contacto con ellas, se deben pintar con un riego de liga, conforme lo establecen los documentos del proyecto.

442.4.13 Apertura al tránsito

No se debe permitir el tránsito público hasta que la mezcla haya adquirido la densidad especificada y la capa 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 a veinte kilómetros por hora (20 km/h) para impedir que se produzcan aceleraciones, frenadas o giros bruscos sobre la capa. Si esto no es posible, el tránsito que necesariamente deba circular sobre ella se debe distribuir de manera que no se concentren las huellas de su circulación sobre la superficie.

Los daños producidos por esta causa deben ser reparados por el constructor sin costo adicional para INVÍAS y a satisfacción plena del interventor.

442.4.14 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión y compactación de mezclas cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5°C), esté lloviendo o exista alta probabilidad de lluvia. En caso de que la mezcla sin compactar o compactada sea afectada por el agua de lluvia, el constructor debe, a su costa, retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado a satisfacción del interventor.

Los trabajos de construcción de la mezcla asfáltica densa natural se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en jornada nocturna, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial adecuado. Si el constructor no ofrece esta garantía debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicional para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

442.4.15 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.

442.4.16 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, los debe corregir el constructor, sin costo adicional para INVÍAS y con la aprobación del interventor. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar

a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

442.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

442.5.1 Controles

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

442.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

442.5.2.1 Calidad de la emulsión

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión asfáltica son los establecidos en el artículo 411.

442.5.2.2 Calidad del agua

Siempre que el interventor tenga alguna sospecha sobre la calidad del agua empleada en la mezcla, debe verificar su pH y su contenido de sulfatos, cuyos valores deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 442.2.4, para permitir su empleo. Si alguna mezcla ha sido elaborada con un agua calificada de inapropiada, se debe poner en observación, hasta el recibo definitivo de los trabajos y, en caso de que presente deterioros, se debe remover y reconstruir por cuenta exclusiva del constructor y hasta ser aprobada por el interventor. La mezcla removida es de propiedad del constructor.

442.5.2.3 Calidad de los agregados pétreos de aporte

Se deben realizar los siguientes controles:

442.5.2.3.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos de aporte, y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le debe realizar los ensayos indicados en la Tabla 442 – 3. Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 442.2.3, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

442.5.2.3.2 Control de producción

Durante la etapa de producción se deben examinar las descargas de los agregados pétreos de aporte a los acopios y se debe ordenar el retiro del material que, a simple vista, contenga tierra vegetal, presente restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. También, se debe ordenar el acopio por separado de aquellos materiales que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad y debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 442 – 13.

En ningún caso se debe permitir el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos del numeral 442.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

Tabla 442 – 13 Ensayos de verificación sobre los agregados pétreos de aporte

Característica	Norma de Ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría combinada	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la Máquina de los Ángeles	E-218	1 por mes
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura	E -232	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237	1 por mes
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Valor de azul de metileno (Nota 1)	E-235	1 por semana
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina	E-239 Método A	1 por jornada
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, (%)	E-757	1 por mes
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo	E-774	1 por mes

Nota 1: En caso de que se requiera, según la nota 1 de la Tabla 442 – 3.

El interventor podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 442 – 13, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada haya aceptado sin objeción diez (10) lotes

consecutivos.

442.5.2.4 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador, en el cordón de mezcla en obra, en el depósito de almacenamiento o sobre cada vehículo de

transporte, según sea el caso, se debe controlar el aspecto de la mezcla. Se deben rechazar todas las mezclas segregadas, así como aquellas cuya envuelta no sea homogénea.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

442.5.2.4.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un (1) lote, definido como se indica en el numeral 442.5.2.6.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (Norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (ART %) debe tener una tolerancia de uno por ciento (1,0 %) para mezclas realizadas en vía y de cero coma tres por ciento (0,3 %) para mezclas elaboradas en planta respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (ARF%).

(mezcla en vía) [442.1]

$$RF\% - 1,0\% \leq ART\% \leq ARF\% + 1,0\%$$

(mezcla en planta) [442.2]

$$ARF\% - 0,3\% \leq ART\% \leq ARF\% + 0,3\%$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (ARI %) no puede diferir del valor promedio (ART %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

[442.3]

$$ART\% - 0,5\% \leq ARI\% \leq ART\% + 0,5\%$$

Un porcentaje de asfalto residual promedio (ART%) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no existen

problemas de comportamiento de la mezcla ni de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, la capa de la mezcla asfáltica 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.

442.5.2.4.2 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 dentro de las tolerancias establecidas en la Tabla 442 – 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 mezcla se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 442.4.3. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se debe rechazar el lote.

En caso de rechazo, la capa 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.

442.5.2.5 Calidad de la mezcla**442.5.2.5.1 Control de la resistencia para mezclas asfálticas con adición de emulsión asfáltica**

Con un mínimo de dos (2) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra) para verificar en el laboratorio su resistencia en los ensayos de inmersión - compresión (norma de ensayo INV E-622). Una muestra se debe curar en seco y otra en condición húmeda.

Tanto la resistencia media tras curado seco como tras curado húmedo de las probetas elaboradas (R_m), deben superar o al menos igualar al noventa por ciento (90 %) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (R_t):

$$R_m \geq 0,90 R_t \quad [442.4]$$

Además, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80%) del valor medio de su respectivo grupo, admitiéndose sólo un (1) valor individual por debajo de ese límite:

$$R_i \geq 0,80 R_m \quad [442.5]$$

La resistencia conservada promedio (R_{cm}) debe ser, como mínimo, el setenta y cinco por ciento (75 %) sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

$$R_{cm} \geq 75 \% \quad [442.6]$$

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa 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 incumplimiento se presenta en dos (2) lotes consecutivos se deben suspender los trabajos hasta que se estudie una nueva fórmula de trabajo que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en el numeral 3.

442.5.2.5.2 Control de las características Marshall para mezclas asfálticas sin adición de emulsión Asfáltica

Para la evaluación de las propiedades Marshall y con un mínimo de dos (2) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, se deben compactar probetas con los mismos parámetros utilizados en el diseño a nivel de laboratorio (al menos tres (3) por muestra).

442.5.2.5.2.1 Estabilidad

La estabilidad media de las seis (6) 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).

$$E_m \geq 0,90 E_t \quad [442.7]$$

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 442 – 8.

$$25 E_t > E_i > \text{valor mínimo Tabla 442 – 8} \quad [442.8]$$

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 sólo un valor individual por debajo de ese límite.

$$E_i \geq 0,80 \quad [442.9]$$

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 asfáltica natural 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.

442.5.2.5.2.2 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 (F_t), pero no se debe permitir que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos en la Tabla 442 – 8.

$$0,80 F_t \leq F_m \leq 1,20 F_t \quad [442.10]$$

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido en la Tabla 442 – 8, 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.

442.5.2.5.2.3 Susceptibilidad a la humedad

Cada vez que el interventor lo considere necesario, de acuerdo con el aspecto y el comportamiento de la mezcla colocada, se debe verificar en el laboratorio la susceptibilidad de la mezcla compactada a la acción del agua según la metodología de diseño del Instituto Norteamericano del Asfalto.

Al efecto se deben moldear seis (6) probetas con la mezcla que se está elaborando, tres (3) de las cuales se deben curar en seco y tres (3) bajo condición húmeda, para determinar la estabilidad Marshall promedio de cada grupo como lo establece la norma de ensayo (ver el numeral A6 del Anexo A). La estabilidad

Marshall del grupo curado en húmedo debe ser, cuando menos, setenta y cinco por ciento (75%) de la estabilidad Marshall del grupo curado en seco, para que se considere que la mezcla es resistente a la humedad, sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

El incumplimiento de este requisito implica la realización del ensayo sobre núcleos tomados de los diferentes lotes, cuya mezcla considere el interventor que puede presentar este problema (seis (6) núcleos por lote, tres (3) curados en seco y tres (3) bajo condición húmeda). Los lotes de material que no cumplan con el requisito se deben rechazar.

Además, los trabajos se deben 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.

442.5.2.5.2.4 Contenido de agua

Siempre que la apariencia de la mezcla indique la posible presencia de agua en ella, se debe determinar el contenido de agua en la mezcla asfáltica, según las normas de ensayo INV E-755 o INV E-783.

El contenido de agua en cualquier mezcla asfáltica no puede ser mayor del uno por ciento (1 %). Los volúmenes de mezcla que no cumplan con este requisito deben ser rechazados.

442.5.2.6 Calidad del producto terminado

442.5.2.6.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o se rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla

asfáltica:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de mezcla colocada.
- La obra ejecutada con el mismo material, de la misma procedencia y con el mismo equipo y procedimiento de trabajo.

Específicamente para la determinación del índice Internacional de Rugosidad (IRI), la definición de lote es como se indica en el numeral 442.5.2.6.9.

442.5.2.6.2 Aspectos generales

La capa terminada de mezcla asfáltica debe presentar una superficie uniforme y se debe ajustar 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 puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la mezcla asfáltica compactada en capas de base no debe variar en más de quince milímetros (15 mm) de la proyectada y la variación no puede exceder de diez milímetros (10 mm) cuando se trate de capas intermedias y de rodadura.

Todas las áreas donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, así como aquellas en que se presente retención de agua en la superficie, deben ser corregidas por el constructor y aprobadas por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

Además, se deben realizar las siguientes verificaciones.

442.5.2.6.3 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 asfáltica se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno (D_i) y de los ensayos de densidad (D_e) en el laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$GC_i = \frac{D_i}{D_e} \times 100$$

[442.11]

Donde:

GC_i : Valor individual del grado de compactación en porcentaje;

D_i : Valor individual de la densidad en el terreno, determinado por alguno de los métodos descritos en las normas de ensayo INV E-733, E-734, E-746 o E-802;

D_e : Valor promedio de los valores de densidad de las seis (6) probetas por lote elaboradas en el laboratorio según la metodología de ensayo inmersión - compresión como se indica en el numeral 440.5.2.5.1 del artículo 440, o Marshall Modificado del Instituto Norteamericano del Asfalto.

Sólo se debe aceptar la determinación de la densidad de la capa compactada por medio del densímetro nuclear (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.

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

$GC_i(90) \geq 95,0\%$ se acepta el lote [442.12]

$GC_i(90) < 95,0\%$ se rechaza el lote [442.13]

Siendo:

$GC_i(90)$: Límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad del 90%, se encuentra el valor promedio del grado de compactación del lote en porcentaje; se calcula 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 .

Las comprobaciones de la compactación se deben realizar en todo el espesor de la capa que se controla cuando se haya cumplido sustancialmente el período de curado de la mezcla, conforme se haya determinado durante la etapa de diseño de la mezcla y/o en la fase de experimentación. La toma de muestras testigos se debe realizar de acuerdo con la norma INV E-758.

En caso de rechazo, la capa de mezcla asfáltica 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.

442.5.2.6.4 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).

$$e_m \geq e_d \quad [442.14]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe 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.

$$e_i \geq 0,90 e_d \quad [442.15]$$

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.

442.5.2.6.4.1 Para capas de rodadura

El constructor debe fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado o, alternativamente y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, colocar una capa adicional del mismo tipo de mezcla de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, cumpliendo todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas se debe ejecutar en acuerdo con el artículo 421.

Si la capa adicional no cumple alguno de los requisitos de este artículo, esta se debe fresar y reponer con una nueva de calidad satisfactoria, sin costo alguno para INVÍAS.

442.5.2.6.4.2 Para capas intermedias y de base

El constructor debe fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado salvo que, tratándose de una capa de base o intermedia sobre la cual se va a colocar otra capa de mezcla asfáltica, el constructor se comprometa

a compensar la deficiencia incrementando el espesor de la capa intermedia o de rodadura respectivamente, sin que el exceso de espesor por colocar de esta última genere costo alguno para INVÍAS.

442.5.2.6.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar zonas de acumulación de agua, ni irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) en capas de rodadura o de quince milímetros (15 mm) en capas de base o intermedias y bacheos, cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793; la regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que el interventor escoja al azar, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente.

Las zonas que presenten deficiencias de este tipo se deben retirar preferiblemente mediante fresado, y ser repuestas por el constructor colocando 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.

442.5.2.6.6 Textura

Las medidas de textura se deben realizar antes de la puesta en servicio de la capa de rodadura construida con una mezcla asfáltica natural empleando el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos por controlar por lote debe ser de tres (3), que se deben ampliar a cinco (5), si la textura obtenida en uno (1) de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730. La

profundidad media de textura del lote no puede ser menor al mínimo admisible, que se defina en los documentos del proyecto, el cual no puede ser inferior a cero coma treinta y cinco milímetros (0,35 mm). Ningún valor individual puede ser inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido y no pueden existir áreas con evidencias indudables de segregación.

Si este requisito no se cumple, la capa de rodadura correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresado, 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.

Alternativamente, y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo con el correspondiente riego de liga, sin costo adicional para INVÍAS, del mismo espesor compacto que la anterior, para cumplir todos los requisitos de calidad de esta especificación.

442.5.2.6.7 Resistencia al deslizamiento

Una vez transcurridos, como mínimo treinta (30) días de la puesta en servicio, se harán las determinaciones de la resistencia al deslizamiento sobre las mezclas asfálticas construidas para servir como capas de rodadura.

Debido a que la resistencia al deslizamiento se encuentra relacionada directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que el interventor los debe ubicar en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular en condición de

superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote, y ninguna de ellas puede presentar un valor inferior a cero coma cinco (0,5).

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser corregida por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS. Para ello, la capa de mezcla asfáltica 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.

Alternativamente, y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo, sin costo adicional para INVÍAS, de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, que cumpla todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga usado para adherir las capas debe ser aplicado de acuerdo con el artículo 421, sin costo adicional para INVÍAS.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, el constructor debe proponer el equipo y ser aprobado por el interventor, al igual que los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a cero coma cinco (0,5) para el

péndulo británico.

442.5.2.6.8 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a las capas asfálticas por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y debe ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar el pago al constructor, con el consentimiento previo de INVÍAS, al respectivo precio unitario del contrato.

442.5.2.6.9 Regularidad superficial

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se debe comprobar de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, este artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial. Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión, en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar de acuerdo con la norma ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores del IRI se deben presentar en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos

de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituye un lote.

No debe haber exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, reductores de velocidad, etc., los cuales debe definir el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación del IRI.

Se entiende que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 442 – 14. Si la proporción de hectómetros donde los resultados del IRI exceden los límites especificados no es superior a veinte por ciento (20 %) del total del lote, el interventor debe delimitar los sectores relevantes en el

incumplimiento y debe ordenar su corrección mediante fresado y la colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica. El interventor debe establecer los espesores por fresar y reponer en cada tramo, y todos los costos que impliquen estas correcciones, deben ser asumidos por el constructor. El material fresado es de propiedad del constructor.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados del IRI exceden los límites especificados es mayor a veinte por ciento (20 %) del total del lote, toda la longitud de este debe ser fresada y repuesta en el mismo espesor.

El fresado, traslado y disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa con la calidad exigida por el presente artículo, están a cargo del constructor. El material demolido es de propiedad del constructor. Este, a su vez, no puede invocar las reparaciones o reconstrucciones debidas a deficiencias en la regularidad superficial como causal para incumplir el programa de trabajo.

Tabla 442-14 Valores máximos admisibles del IRI (m/km) para tránsito NT

Porcentaje (%) de hectómetros	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 10 cm	Pavimentos rehabilitados en espesor ≤ 10 cm
40	2,4	2,9
80	3,0	3,5
100	3,5	4,0

442.5.2.6.10 Construcción de capas de renivelación

La mezcla asfáltica que se emplee para la construcción de capas de renivelación de un pavimento existente debe cumplir los mismos requisitos que se exigen cuando se coloca como capa de base, si su espesor compacto es mayor o igual a setenta y cinco milímetros (75

mm). En caso contrario, debe cumplir los requisitos exigidos para la capa intermedia.

442.5.2.6.11 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la homogeneidad de la estructura construida al nivel de la capa de mezcla asfáltica, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797,

de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a este. Los resultados de las medidas, que se deben realizar en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no deben constituir base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que sirven a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios al diseño estructural del pavimento.

442.6 Medida

Rige lo descrito en el artículo 400 y, en particular, en el numeral 400.6.2. Para bacheos, se debe aplicar lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo artículo.

442.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el artículo 400 y, en particular, en el numeral 400.7.3 del mismo artículo.

Se excluyen del precio unitario, el suministro y el almacenamiento de la emulsión para la mezcla, los cuales se deben pagar de acuerdo con el artículo 411, siempre que ello sea requerido.

442.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
442.1	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-38	Metro cúbico (m ³)
442.2	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-25	Metro cúbico (m ³)
442.3	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-19	Metro cúbico (m ³)
442.4	Mezcla asfáltica natural para bacheo	Metro cúbico (m ³)

Nota: Se debe elaborar un nuevo ítem de pago diferente para cada tipo de mezcla y capa que haga parte del contrato. Por ejemplo, si el contrato considera dos mezclas del tipo MAN-25, una para capa de rodadura y otra para capa intermedia, se pueden identificar así:

Ítem	Descripción	Unidad
442.2.1	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-25 para capa de rodadura	Metro cúbico (m ³)
442.2.2	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-25 para capa intermedia	Metro cúbico (m ³)

De igual manera se debe elaborar un nuevo ítem si a las mezclas asfálticas naturales se les adiciona una emulsión asfáltica. En este caso se podría identificar así:

Ítem	Descripción	Unidad
442.2.3	Mezcla asfáltica natural tipo MAN-25 para capa de rodadura con adición de emulsión asfáltica	Metro cúbico (m ³)

Anexo A

(Informativo)

Evaluación de mezclas asfálticas mediante la aplicación del Método Marshall modificado del Instituto Norteamericano del Asfalto

A.1 GENERALIDADES

A.1.1 Justificación y ámbito de aplicación del método de evaluación

Las mezclas asfálticas naturales son consideradas mezclas asfálticas no convencionales. Su origen es natural mediante un proceso de impregnación del agregado (arena o conglomerado) por un crudo pesado a través del tiempo. Se considera como una mezcla de un agregado y un asfalto líquido natural de curado lento (solventes pesados) conformado por un cemento asfáltico de consistencia baja y una variedad de solventes con una alta viscosidad, difícil de evaporar en su totalidad durante el proceso de colocación y compactación pero que pueden ir variando su composición química por fenómenos de

oxidación con el oxígeno proveniente del aire y agua, por lo cual se espera un incremento de su resistencia con el transcurso del tiempo

En Estados Unidos a comienzos de siglo pasado (1900), era muy común la utilización de los denominados Cut Back o asfaltos rebajados para elaborar mezclas asfálticas para la construcción de superficies de rodadura en vías con bajo nivel de tránsito. Es por eso por lo que instituciones reconocidas como el Instituto Norteamericano del Asfalto lideró una serie de investigaciones a nivel de laboratorio y en obra que generó en un método de diseño de las mezclas con asfalto líquido y unos criterios de diseño, basados ambos en el método de diseño de mezclas en caliente Bruce Marshall. Esta metodología y criterios de diseño se encuentran publicados en el manual de diseño del Instituto Norteamericano del Asfalto MS-14 de 1989 en el apéndice H y en los métodos de diseños de mezclas para concreto asfáltico, MS-2. Con la proliferación de la tecnología de mezclas en caliente y la coyuntural crisis energética de los años 80's su uso se redujo considerablemente.

El método y criterios de diseño del instituto del Asfalto son aplicables en las tareas de mantenimiento y pavimentación cuando se utilizan los asfaltos líquidos, en especial los del tipo curado medio (MC) y curado lento (SC) y agregados minerales bien gradados con un tamaño máximo de partículas de veinticinco milímetros (25 mm) (1 pulgada) o menores. Por esta razón, el método seleccionado para caracterizar estas mezclas asfálticas no convencionales, dadas las características del ligante natural y los criterios de diseño para evaluar su comportamiento, es el recomendado por Instituto Norteamericano del Asfalto. Es de anotar que este método de diseño puede ser realizado por cualquier laboratorio dedicado a la evaluación de materiales viales de manera rápida y económica. Incluye mezclas elaboradas en vía, preparadas a la temperatura

ambiente, así como también mezclas en planta que requieran una alta temperatura de mezclado. El método puede ser usado únicamente para diseños a nivel de laboratorio.

Teniendo en cuenta que esta metodología de diseño no se volvió a utilizar debido a disposiciones de tipo ambiental y energético, lo cual favoreció el desplazamiento de los asfaltos líquidos por las emulsiones asfálticas, se considera necesario precisar nuevamente estos aspectos a los laboratorios actuales, presentando a continuación una adaptación y aplicación del método de diseño Marshall modificado para asfaltos líquidos en la evaluación de las mezclas asfálticas naturales con o sin adición de agregado de aporte.

Nota 1: Este instructivo no reemplaza al documento recomendado por el Instituto Norteamericano del Asfalto, por lo que se debería tener como referencia directa en el laboratorio el documento original.

A1.2 Procedimiento general

Antes de elaborar las mezclas de prueba para ajustar las dimensiones de las briquetas se requiere:

- a) Que los materiales cumplan con las especificaciones requeridas.
- b) Que la combinación a evaluar de mezcla asfáltica natural y agregado pétreo de aporte se encuentre dentro de las especificaciones granulométricas exigidas.
- c) Que se determine la gravedad específica bulk de los agregados que conforman la mezcla asfáltica natural, del agregado pétreo de aporte y la gravedad específica del ligante asfáltico, con el fin de realizar el análisis de densidad y vacíos.
- d) Que se elabore la curva reológica del ligante asfáltico que conforma la mezcla asfáltica natural. Para ello se debe

separar el agregado del ligante asfáltico natural mediante el procedimiento definido por la norma INV E-759 y determinar la viscosidad a distintas temperaturas.

El método Marshall utiliza muestras de prueba normalizada de sesenta y tres coma cinco milímetros (63,5 mm) (2,5 pulgadas) de espesor por ciento uno coma seis milímetros (101,6 mm) (4 pulgadas) de diámetro, que se preparan de acuerdo con especificaciones bien definidas de espesor, mezclado y compactación de las mezclas.

Los dos datos más importantes del diseño de la mezcla por el método Marshall son: Un análisis de densidad y vacíos y una prueba estabilidad – flujo sobre las muestras compactadas.

La estabilidad de la muestra es la máxima resistencia a la carga en newtons (N), que una muestra ensayada a una temperatura controlada de veinticinco grados Celsius (25 °C) (77 °F) soportaría siguiendo el procedimiento que más adelante se enuncia. El flujo es el total de deformación medido en unidades cero coma veinticinco milímetros (0,25 mm) (0,01 pulgada), que sufre la muestra (briquetas), mientras se carga al máximo durante la prueba de estabilidad.

El proceso de evaluación consiste en los siguientes pasos.

- Se selecciona la mezcla asfáltica natural y en caso de ser necesario, el agregado pétreo de aporte, los cuales deben cumplir con las especificaciones requeridas.
- Se preparan y compactan muestras de prueba con los materiales seleccionados teniendo en cuenta que las temperaturas de mezclado y compactación se deben determinar mediante la curva de susceptibilidad térmica (curva reológica) del ligante asfáltico natural que conforma la

mezcla asfáltica.

- Con la mezcla asfáltica seleccionada en su estado natural, tal como sale de la mina, o con la adición de agregado pétreo de aporte se prepara una serie de muestras de prueba (briquetas). Se recomienda evaluar mínimo dos porcentajes por encima y por debajo del óptimo teórico de referencia que debería estar presente en la mezcla asfáltica seleccionada definido por algún método. Se recomienda utilizar el método de superficie específica del agregado determinado mediante la norma Invias E-741.
- Para establecer la idoneidad de los datos estimados se deben elaborar tres (3) muestras (briquetas) por cada contenido de asfalto que se vaya a usar. Así, para un estudio de diseño se deben evaluar al menos cuatro (4) mezclas asfálticas con porcentajes de asfalto diferentes, por lo cual se van a requerir al menos doce (12) briquetas. Adicionalmente se deben utilizar seis (6) briquetas para determinar los efectos del agua en la estabilidad. Para la elaboración de cada muestra de ensayo (briqueta), se necesitan aproximadamente mil doscientos gramos (1 200 g) de mezcla asfáltica. Es por esto por lo que la cantidad mínima de material representativo y de composición homogénea que se requiere para la preparación de las briquetas y realizar los demás ensayos de caracterización necesarios: análisis granulométrico y determinación de las gravedades específicas, es aproximadamente 30 kg.
- Las muestras se evalúan para determinar la relación de vacíos en la mezcla y relación de vacíos en el agregado y la estabilidad y el flujo Marshall a veinticinco grados Celsius (25 °C) (77 oF).
- El efecto del agua en la estabilidad y el flujo se determinan de acuerdo con los

resultados de someter la muestra (briqueta), a una prueba de inmersión por un período de cuatro (4) días en un baño de agua a veinticinco grados Celsius (25 °C) (77 °F).

- Se debe seleccionar la mezcla asfáltica que cumpla con los criterios de diseño establecidos por el Instituto Norteamericano del Asfalto.

A.2 EQUIPO

Al respecto se considera lo que resulte aplicable de la norma de ensayo INV E-748, numeral A4.

El equipo necesario para la elaboración de las briquetas o muestras es el siguiente:

- Horno y palanca calentadora eléctrica para calentar los agregados pétreos de aporte, el asfalto y materiales necesarios.
- Cuchara para manejar los agregados y la mezcla.
- Recipientes graduados, bandeja y pinzas para el calentamiento del asfalto.
- Termómetro blindado de vidrio o dial con varilla para lecturas entre diez y doscientos treinta y dos grados Celsius (10 °C – 232 °C) (50 °F – 450 °F), de la temperatura de los agregados, del asfalto y de la mezcla asfáltica.
- Balanza de dos kilogramos (2 kg) de capacidad, con aproximación a cero coma un gramos (0,1 g), para pesar las muestras compactadas.
- Palustre.
- Espátula.
- Mezclador mecánico (opcional) de cuatro litros (4 L) de capacidad o más, equipo con dos compartimientos de metal para mezclado y dos agitadores.
- Baño de agua hirviendo que consiste en el plato calentador y cubeta de agua para

calentar el martillo y el molde de compactación.

- Pedestal para compactación que consta de soporte de madera de doscientos por doscientos por cuatrocientos sesenta milímetros (200 mm x 200 mm x 460 mm) (8 pulgadas x 8 pulgadas x 18 pulgadas), sobre el cual descansa una placa de acero de trescientos cinco por trescientos cinco por veinticinco milímetros (305 mm x 305 mm x 25 mm) (12" x 12" x 1"). El soporte puede ser de roble, pino o cualquier otra madera resistente que tenga un peso seco de seiscientos setenta y tres a setecientos sesenta y nueve kilogramos por metro cúbico (673 kg/m³ a 769 kg/m³) (42 lb/pie³ a 48 lb/pie³). El soporte se debe asegurar mediante cuatro (4) esquinas a una placa sólida de concreto. Los bordes de la placa de acero se fijan firmemente al soporte. El pedestal puede instalarse de tal manera que el soporte quede nivelado y que se presente un perfecto ajuste durante el proceso de la compactación.
- Molde de compactación que consta de: una base, un molde encofrado y un collar de extensión. El molde tiene un diámetro interior de ciento uno coma seis milímetros (101,6 mm) (4 pulgadas) y una altura aproximadamente de setenta y seis milímetros (76 mm) (3 pulgadas). La base y el collar están diseñados para intercambiarse ya sea a uno u otro lado del molde.
- Martillo de compactación que consta de una barra achatada que cae deslizándose sobre una guía y un pisón de cara circular de noventa y ocho coma cuatro milímetros (98,4 mm) (3-7/8 de pulgada). La barra pesa cuatro coma cinco kilogramos (4,5 kg) (10 lb) y tiene una caída (guía) de cuatrocientos cincuenta y siete coma dos milímetros (457,2 mm) (18 pulgadas) de altura.

- m) Soporte del molde que consta de un dispositivo de tensión elástica, diseñado para acoplar el molde sobre el pedestal de compactación.
- n) Extractor de muestras o prensa para extraer la muestra (briqueta) ya compactada.
- o) Guantes de soldadura para el manejo del equipo calentado.
- p) Guantes de caucho para el manejo de las muestras en el baño de agua caliente.
- q) Crayolas para marcar las muestras.
- r) Bandeja de metal para vaciar los agregados, mezclarlos con el asfalto líquido y curado de la mezcla.
- s) Horno aireador para el curado de las mezclas.
- t) Balanza de cuatro kilogramos (4 kg) de capacidad con aproximación a cero coma dos gramos (0,2 g), para pesar los agregados y el asfalto.
- u) Máquina de ensayo Marshall con dispositivo eléctrico, diseñada para aplicar las cargas a las muestras por medio de pesas de ensayo semicirculares a una tasa de deformación constante de cincuenta coma ocho milímetros por minuto (50,8 mm/min) (2 pulgadas/min). Está equipada, además, con un calibrador provisto de anillo para determinar la carga de ensayo aplicada, marco de carga para el ensayo de estabilidad Marshall y un medidor de flujo Marshall para establecer la deformación bajo la carga máxima de ensayo. En lugar del marco de ensayo Marshall puede emplearse una máquina universal de ensayo equipado con indicadores adecuados de carga y deformación.
- v) Aireador o baño de aire. El baño de aire debe estar equipado con un control automático o manual de mantenimiento de

la temperatura en veinticinco, más o menos cero coma seis, grados Celsius ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($77\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{F}$).

A.3 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYO

Al respecto se considera lo que resulte aplicable de la norma de ensayo INV E-748, numeral A5.

A.3.1 Número de muestras

Se deben preparar por lo menos tres (3) muestras y preferiblemente cinco (5) muestras para cada contenido de asfalto en la mezcla seleccionada para evaluar, ya sea en su estado natural o con aporte de agregados pétreos.

A.3.2 Determinación de la temperatura de mezclado y de compactación

La temperatura a la cual debe realizarse la mezcla entre el agregado pétreo de aporte y la mezcla asfáltica natural debe ser la que permita alcanzar en el ligante asfáltico una viscosidad de ciento setenta más o menos veinte centistokes ($170 \pm 20\text{ cSt}$). La temperatura a la cual el ligante asfáltico puede llegar a tener una viscosidad de doscientos ochenta más o menos treinta centistokes ($280 \pm 30\text{ cSt}$) se denomina la temperatura de compactación.

Para su determinación debe construirse la curva de viscosidad versus temperatura del ligante asfáltico recuperado mediante el procedimiento definido por las normas de ensayo INV E-759 e INV E-717.

Nota 2: Teniendo en cuenta que las mezclas asfálticas naturales están conformadas por arenas o conglomerados impregnados de una película de ligante asfáltico natural (cemento asfáltico y solvente de bajo grado de volatilización), no es necesario someter a un proceso de curado a la mezcla antes

de proceder a su compactación. En este caso se estaría evaluando a las mezclas asfálticas naturales de una manera conservadora, dado que con el tiempo en servicio se presenta un endurecimiento del ligante haciendo que la mezcla vaya incrementando su resistencia a las deformaciones plásticas. Esta es una diferencia respecto al método original en donde se hace evaporar un veinticinco por ciento (25 %) o un cincuenta por ciento (50 %) de los solventes incluidos durante la elaboración del asfalto líquido.

A.3.3 Preparación del molde y el martillo

Cuando se encuentra completamente limpio el conjunto del molde, al igual que la cara del martillo, se someten a un baño de agua caliente o se colocan sobre el plato calentador a una temperatura entre noventa y tres coma tres y ciento cuarenta y ocho coma nueve grados Celsius (93,3 °C - 148,9 °C) (200 °F – 300 °F). Se debe colocar un pedazo de papel de filtro recortado de acuerdo con el tamaño del fondo del molde y luego se coloca la muestra en el molde.

A.3.4 Preparación de las mezclas

Al respecto, se debe considerar lo que resulte aplicable de la norma de ensayo E-748, numeral A5.5.

- Pesar por separado en bandejas para cada muestra de ensayo la cantidad adecuada de cada fracción que produzca una cochada que dé como resultado una muestra compactada de sesenta y tres coma cinco, más o menos uno coma tres, milímetros (63,5 ± 1,3 mm) (2,5 ± 0,1 pulgadas) de espesor.
- Colocar las bandejas con la mezcla asfáltica natural y material de aporte (en caso necesario) en el horno y calentar a una temperatura aproximada de diez grados Celsius (10 °C), por encima de la

temperatura de mezclado.

- Colocar en la bandeja de mezclado cada uno de los materiales a mezclar, previamente pesados, en las cantidades definidas. En este punto, la temperatura de la mezcla asfáltica natural y agregados pétreos de aporte debe estar cercana a los límites de la temperatura de mezclado establecida anteriormente. Se mezclan energicamente los materiales de manera uniforme con el palustre hasta obtener una mezcla homogénea. Debe evitarse la pérdida de material durante el mezclado y luego durante su manejo.

A.3.5 Compactación de las muestras (briquetas).

Al respecto se debe considerar lo que resulte aplicable de la norma de ensayo E-748, numeral A5.6.

3.5.1. Colocar toda la cochada preparada dentro del molde, emparejando la mezcla con la espátula unas quince (15) veces alrededor del perímetro y diez (10) veces en la parte central. Se quita el collar y se alisa suavemente la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. Inmediatamente antes del proceso de compactación, la temperatura de la mezcla debe estar muy cercana a los límites de la temperatura de compactación establecida, o de lo contrario debe descartarse.

3.5.2. Colocar nuevamente el collar de extensión, colocar el molde en el sostenedor y ubicarlo en el pedestal de compactación. Se aplican setenta y cinco (75) golpes con el martillo. Se quita la base y el collar, se le da vuelta y se vuelve a armar el conjunto. Se aplica el mismo número de golpes (75) a la cara opuesta de la muestra. Después de la compactación se quita la base del molde y se expone la muestra a la temperatura ambiente

dentro del molde. Se saca la muestra del molde por medio de un extractor o de cualquier otro aparato de compresión. Se coloca en una superficie lisa y se enrasa la superficie antes de llevarla al ensayo. Las muestras que presenten una variación de más o menos dos coma cinco milímetros ($\pm 2,5$ mm) ($\pm 0,1$ pulgada), en relación con el espesor especificado de sesenta y tres milímetros (63 mm) (2,5 pulgadas), se deben rechazar.

Nota 3: El ensayo de estabilidad y flujo se debe efectuar pasadas dieciséis horas (16 h) después de la compactación. Si la muestra debe ser almacenada por más de veinticuatro horas (24 h), antes del ensayo, se debe proteger de la exposición al aire mediante sellado en un recipiente cerrado a prueba de aire.

A.4 ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS

Al respecto se debe considerar lo que resulte aplicable de las normas de ensayo INV E-736 e INV E-799.

Para realizar la determinación del volumen de vacíos con aire V_v y vacíos en el agregado mineral VAM, es necesario determinar los siguientes parámetros a las mezclas asfálticas en estado suelto y compactado:

- La gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada mediante el procedimiento descrito en algunas de las normas INV E-733 e INV E-734.
- Se determina la gravedad específica máxima de cada una de las mezclas asfálticas evaluadas siguiendo el procedimiento definido en la norma INV E-735.

A.5 ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

Al respecto se debe considerar lo que resulte aplicable de la norma de ensayo INV E- 748,

numeral A6.

Después de determinada la gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada se deben garantizar los siguientes requisitos para los ensayos de estabilidad y flujo:

- Permanencia de la muestra durante dos horas (2 h), antes de ensayarse, en el baño de aire a veinticinco, más o menos cero coma siete, grados Celsius ($25\text{ }^\circ\text{C} \pm 0,7\text{ }^\circ\text{C}$) ($77\text{ }^\circ\text{F} \pm 1\text{ }^\circ\text{F}$).
- Establecer la limpieza de las guías y de la superficie interior del anillo de prueba y lubricar las guías para garantizar que el segmento superior del anillo se deslice libremente sobre ellas. La temperatura del anillo de prueba debe mantenerse entre veintiuno coma uno y veintiséis coma siete grados Celsius ($21,1\text{ }^\circ\text{C} - 26,7\text{ }^\circ\text{C}$) ($70\text{ }^\circ\text{F} - 80\text{ }^\circ\text{F}$), utilizando el baño de agua, si ello fuere necesario. Verifíquese el ajuste en cero (0) del medidor de flujo (deformímetro) y el dispositivo de medición de la carga (anillo).
- Se saca la muestra del baño de aire, se coloca en la parte inferior del anillo de prueba, luego se ajusta la parte superior de dicho anillo y se centra el conjunto en el dispositivo de carga. Se coloca el medidor de flujo (deformímetro) sobre la barra guía marcada.
- Aplicar la carga de ensayo a la muestra a una rata de deformación constante de cincuenta coma ocho milímetros por minuto ($50,8\text{ mm/min}$) (2 pulgadas/min) hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura obtenida en la carga máxima. El número total de Newtons (N) o libras (Lb) que sea necesario para producir la falla de la muestra a veinticinco coma seis grados Celsius ($25,6\text{ }^\circ\text{C}$) ($77\text{ }^\circ\text{F}$), se considera como valor de su estabilidad Marshall.
- Mientras se hace el ensayo de estabilidad

manténgase el medidor de flujo fuertemente en posición sobre la barra guía y retírese en el instante en que empiece a decrecer, o sea, bajo la carga máxima. Se debe anotar el valor de flujo indicado, cuyas unidades son cero coma veinticinco milímetros (0,25 mm) (0,01 pulgadas).

- Promediar los valores de estabilidad y flujo para todas las muestras con cada contenido de ligante. Los valores que obviamente no estén cercanos entre sí deben obedecer a errores y por lo tanto no se consideran dentro del promedio.

A.6 EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA

- Se deben seleccionar las mezclas asfálticas que cumplan con todos los requerimientos de diseño exigidos en la tabla A1.
- Se debe preparar un grupo de por lo menos seis (6) muestras de ensayo con las mezclas seleccionadas siguiendo el procedimiento descrito en el numeral A3.
- Se determina la gravedad específica bulk de cada mezcla asfáltica compactada y se obtiene el valor promedio. Se dividen las muestras en dos grupos de tal manera que la gravedad específica bulk de cada uno de los dos grupos sea, en lo posible, cercano

al promedio general.

- Colocar un grupo de las muestras de ensayo a temperatura ambiente en un baño de aire (aireador) a veinticinco, más o menos cero coma seis, grados Celsius ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($77\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{F}$), durante dos horas (2 h) antes de ensayarlas para estabilidad y flujo a la misma temperatura.
- Colocar el otro grupo de muestras de ensayo en otros recipientes y mantenerlas a temperatura ambiente por un periodo de dieciséis a veinticuatro horas (16 h – 24 h). Posteriormente se sumergen durante cuatro días (4 d) en un baño de agua a una temperatura de veinticinco, más o menos cero coma seis, grados Celsius ($25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) ($77\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{F}$), antes de ensayarlas para flujo y estabilidad a la misma temperatura.
- Calcular el porcentaje de estabilidad retenida después de la inmersión, en relación con el promedio de estabilidad Marshall de cada grupo de muestras de ensayo.

A.7 CRITERIO PARA ELEGIR UNA MEZCLA SATISFACTORIA

El criterio de diseño recomendado para la determinación de la confiabilidad de los diseños de mezclas asfálticas, ver tabla A1.

Tabla A1. Criterios de diseño Marshall

Características	Mínimo	Promedio	Máximo
Grado de curado			
% solvente evaporado			
Para mantenimiento		25 (no aplica)	
Para pavimentación		50 (no aplica)	
Numero de golpes por capa		75	
% Vacíos en la mezcla	3	-	5
% Vacíos en los agregados (VAM)	Ver Tabla A2		
Estabilidad (25 °C) (N)			
Para mantenimiento	2 224		
Para pavimentación	3 336		
Flujo (25 °C) (mm)	2		4
Estabilidad residual después de inmersión durante 4 días a 25 °C	75		

A.8 SELECCIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA SATISFACTORIA NATURAL

Comúnmente la mezcla asfáltica satisfactoria se determina por la comparación de las

propiedades dadas por los ensayos y el criterio de diseño de mezclas de la tabla A1, si alguno de los criterios no se cumple o es muy estrecho, se deben seleccionar otras mezclas naturales, corregir la proporción del agregado pétreo de aporte, sustituir una de las fuentes de agregado, entre otras soluciones posibles.

Tabla A2. Porcentaje mínimo de vacíos en los agregados (VAM), considerando su Tamaño Máximo

Tamiz	Mínimo % de vacíos
1 pulgada	13
3/4 pulgada	14
1/2 pulgada	15
3/8 pulgada	16
Nro. 4	18
Nro. 8	21
Nro. 16	23,5

A.9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Normas de ensayos de Materiales 2013, Instituto Nacional de Vías.
- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2022, Instituto Nacional de Vías.
- Manual MS-14: Manual de Mezclas Asfálticas en Frío, del Instituto Norteamericano del Asfalto, apéndice H, 1989.
- Manual MS-2: Los métodos de diseños de mezclas para concreto asfáltico.
- Instituto Norteamericano del Asfalto, Tecnología del asfalto y prácticas de construcción, 1985

Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico)

Artículo 450 – 22

450.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una o más capas de mezcla asfáltica de gradación continua, 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 Tabla 450 — 1 relaciona tres tipos de mezclas asfálticas de gradación continua, en función del tipo de granulometría.

Tabla 450 — 1. Tipos de mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

Tipo	Denominación
Por tipo de granulometría	
Mezclas densas	MDC
Mezclas semidensas	MSC
Mezclas gruesas	MGC
Mezclas especiales	
Mezclas de alto módulo	MAM

Nota: las mezclas de alto módulo, deben cumplir los mínimos de calidad establecidos en la Tabla 450 – 10 sobre las propiedades de módulo de rigidez y resistencia a la fatiga.

En todo caso el valor del módulo de rigidez por adoptar en el diseño debe ser acorde a las condiciones de temperatura y frecuencia del proyecto.

Las mezclas de reciclado en planta y en caliente deben seguir lo especificado en el artículo 462.

450.2 Materiales

450.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

450.2.1.1 Requisitos generales

Los requisitos que se exigen en esta sección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica. En caso de no cumplirse alguno(s) de ellos, la aceptación o rechazo respectivos deben ser evaluados según las premisas

de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales. La aprobación debe ser sustentada mediante un informe técnico detallado, desarrollado por el especialista en pavimentos y/o geotecnia, donde se consigne cuál debe ser el desempeño y la durabilidad, proponiendo las estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento del diseño. El interventor debe aprobar o rechazar los materiales en función

de los requisitos establecidos en esta sección y en los establecidos en el informe de desempeño del especialista.

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben satisfacer los requisitos del numeral 400.2.1 del artículo 400. Así mismo, deben cumplir los requisitos de calidad mencionados en la Tabla 450 – 2.

Tabla 450 – 2. Requisitos de los agregados para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

Característica	Norma de ensayo	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota 1): - Capa de: rodadura/intermedia/base, 500 revoluciones - Capa de: rodadura/intermedia/base, 100 revoluciones	INV E-218	25/35/- 5/7/-	25/35/35 5/7/7	25/35/35 5/7/7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%): - Capa de: rodadura/intermedia/base	INV E-238	-	25/30/30	20/25/25
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos, capa de: rodadura/intermedia/base - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínima (%)	INV E-224	- -	- -	110/90/75 75/75/75
Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura, mínimo.	INV E-232	45	45	45
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, agregados fino y grueso, máximo (%).	INV E-220	18	18	18
Análisis petrográfico				
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado (Nota 2).	ASTM C295	-	-	Reportar
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%).	INV E-237	0,5	0,5	0,5
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de Plasticidad, máximo (%).	INV E-125 e INV E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	INV E-133	50	50	50
Valor de azul de metileno, máximo.	INV E-235	10	10	10

Característica	Norma de ensayo	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	INV E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%): - Una cara: rodadura/intermedia/base - Dos caras: rodadura/intermedia/base	INV E-227	75/60/- -/-	75/75/60 60/-	85/75/60 70/-
Geometría de las partículas, agregado fino (F)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%): - Capa de: rodadura/intermedia/base	INV E-239	40/35/-	45/40/35	45/40/35
Adhesividad (O)				
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%).	INV E-757	Reportar		
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	INV E-774	4		

Nota 1: se aceptan valores superiores de desgaste siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla; esta nota no resulta aplicable para tránsito NT1.

Nota 2: este ensayo es aplicable únicamente para tránsito NT3. El informe debe cuantificar los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado, debe incluir advertencia sobre la presencia de minerales contaminantes, deletéreos, con posibles reactividades químicas, inestables o susceptibles a cambios volumétricos. Debe indicar el grado de meteorización o de alteración del agregado, y la porosidad. También debe incluir valores de acidez y carga de partícula con un concepto sobre la adherencia con el asfalto y las emulsiones.

450.2.1.2 Agregado fino

La proporción de arena natural no puede exceder los valores indicados en la Tabla 450 — 3.

Tabla 450 — 3. Proporción máxima de arena natural en el agregado para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

Característica	Nivel de tránsito		
	NT1	NT2	NT3
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado combinado.	≤ 25	≤ 25	≤ 15
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado fino.	≤ 50		

450.2.1.3 Llenante mineral

El llenante mineral puede provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la planta mezcladora, o puede ser de aporte como producto

comercial, generalmente cal hidratada (ver requisitos en la NTC 4019) o cemento hidráulico (ver requisitos en el numeral 501.2.1 del artículo 501). La proporción de llenante mineral y los requisitos para el mismo deben cumplir lo establecido en la Tabla 450 – 4.

Tabla 450 – 4. Proporción y requisitos del llenante mineral

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Proporción de llenante mineral de aporte: (porcentaje (%) en masa del llenante total)				
- Capa de rodadura	-	-	≥ 25	≥ 50
- Capa intermedia	-	-	≥ 25	≥ 50
- Capa de base	-	-	-	≥ 25
Granulometría del llenante mineral de aporte:				
- % que pasa tamiz de 1,18 mm (nro. 16)			100	
- % que pasa tamiz de 0,600 mm (nro. 30)	E-215		97 – 100	
- % que pasa tamiz de 0,150 mm (nro. 100)			95 – 100	
- % que pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200)			70 – 100	
Densidad <i>bulk</i> (g/cm ³).	E-225		0,5 – 0,8	
Vacíos del llenante seco compactado (%).	E-229	-		≥ 38

450.2.1.4 Granulometría

La granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral, debe estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas en la Tabla 450 – 5. El análisis granulométrico se debe efectuar de acuerdo con la norma INV E-213.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe 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.

Tabla 450 — 5. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. Standard)									
	37,5 1 ½ Pulgadas	25,0 1 Pulgada	19,0 ¾ Pulgada	12,5 ½ Pulgada	9,5 ¾ Pulgada	4,75 Nro. 4	2,00 Nro. 10	0,425 Nro. 40	0,180 Nro. 80	0,075 Nro. 200
	Pasa tamiz (%)									
Densa	MDC-25	100	80 – 95	67 – 85	60 – 77	43 – 59	29 – 45	14 – 25	8 – 17	4 – 8
	MDC-19	-	100	80 – 95	70 – 88	49 – 65	29 – 45	14 – 25	8 – 17	4 – 8
	MDC-10	-	-	-	100	65 – 87	43 – 61	16 – 29	9 – 19	5 – 10
Semidensa	MSC-25	100	80 – 95	65 – 80	55 – 70	40 – 55	24 – 38	9 – 20	6 – 12	3 – 7
	MSC-19	-	100	80 – 95	65 – 80	40 – 55	24 – 38	9 – 20	6 – 12	3 – 7
Gruesa	MGC-38	100	75 – 95	47 – 67	40 – 60	28 – 46	17 – 32	7 – 17	4 – 11	2 – 6
	MGC-25	-	100	75 – 95	55 – 75	28 – 46	17 – 32	7 – 17	4 – 11	2 – 6
Alto módulo	MAM-25	-	100	80 – 95	65 – 80	40 – 55	24 – 38	10 – 20	8 – 14	6 – 9
	MAM-19	-	-	100	80 – 95	40 – 55	24 – 38	9 – 20	6 – 12	3 – 7
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	-	-	-	4 %	-	-	-	3 %	-	2 %

El tipo de mezcla asfáltica en caliente por emplear depende del tipo y del espesor compacto de la capa asfáltica y se define en los

documentos del proyecto, siguiendo los criterios de la Tabla 450 — 6.

Tabla 450 — 6. Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

Tipo de capa	Espesor de capas de compactación (mm)	Tipo de mezcla
Rodadura	30 — 40	MDC-10
	40 — 60	MDC-19, MSC-19
	> 60	MDC-25, MDC-19, MSC-19, MAM-19
Intermedia	> 50	MDC-25, MSC-25
Base	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25
	60 — 130	MAM-25
Bacheos	50 — 75	MSC-25, MGC-25
	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25

450.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar la mezcla en caliente se debe seleccionar en función de:

- Características climáticas de la zona.
- Tipo de capa.
- Condiciones de operación de la carretera.

Los documentos del proyecto deben indicar el tipo de asfalto por utilizar en cada capa del pavimento. El tipo de asfalto puede ser:

- Asfalto convencional, con denominaciones 40 — 50, 60 — 70 u 80 — 100 según se definen en el artículo 410.
- Cemento asfáltico modificado con polímeros de tipo CAM-2, CAM-3, CAM-5 y CAM-1 según se definen en el artículo 414.

En términos generales, se pueden tomar como guía para la selección del tipo de asfalto las indicaciones de la Tabla 450 — 7. Los asfaltos deben cumplir los requisitos de calidad establecidos en los artículos 410 o 414, según corresponda.

Tabla 450 — 7. Tipo de asfalto por emplear en mezclas asfálticas en caliente de gradación continua

Tipo de capa	NT1			NT2			NT3		
	Temperatura media anual de la región (°C)								
	> 24	15 – 24	< 15	> 24	15 – 24	< 15	> 24	15 – 24	< 15
Rodadura e Intermedia	60 – 70	60 – 70 u 80 – 100	80 – 100	60 – 70	60 – 70 u 80 – 100	80 – 100	40 – 50 60 – 70 o 40/70 – 58 o 55/70 – 58 o 55/70 – 65	40 – 50 60 – 70 o 40/70 – 58 o 55/70 – 58	60 – 70 80 – 100 o 55/70 – 58
Base	NA	NA	60 – 70 u 80 – 100	60 – 70 u 80 – 100	80 – 100	60 – 70	60 – 70	60 – 70 u 80 – 100	80 – 100
Alto Módulo	NA	NA	NA	NA	NA	15/40 – 65			

Nota: para una temperatura menor de quince grados Celsius (15 °C) y tránsito NT3, los documentos del proyecto pueden recomendar un cemento asfáltico de grado de penetración 60 – 70, si se considera que el tránsito es extremadamente agresivo. Bajo una consideración similar, se puede emplear el cemento asfáltico modificado con polímeros de tipo CAM-5 para el mismo nivel de tránsito y temperaturas de veinticuatro grados Celsius (24 °C) o menores.

450.2.3 Aditivos mejoradores de la adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, deben cumplir con los requisitos del artículo 412. Los aditivos por emplear deben ser recomendados y suministrados por el constructor, y su dosificación y dispersión homogénea deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce 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, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), de acuerdo con las indicaciones del interventor y hasta ser aprobado por este.

450.2.4 Aditivos para modificar la reología

Se permite la incorporación de productos o tecnologías que modifiquen la reología de una mezcla asfáltica elaborada con asfalto convencional o métodos tradicionales. Se permite el uso de fibras, aditivos para mezclas tibias, asfalto espumado o cualquier otra tecnología o modificador de las propiedades del concreto asfáltico, siempre y cuando se presenten informes técnicos que determinen su dosificación y se muestre evidencia de un comportamiento favorable en campo. Dichos informes deben ilustrar las mejoras obtenidas en el desempeño, en los procesos productivos, en los procesos constructivos, en la

durabilidad o en las prestaciones mecánicas, al ser comparada la mezcla modificada respecto a la mezcla patrón sin incorporación de dichos productos. Además, el uso de estos productos o tecnologías debe ser respaldado con las respectivas fichas técnicas y hojas de seguridad proporcionadas por el fabricante para contar con la aprobación del interventor.

450.3 Equipo

Al respecto, se debe considerar lo que resulte aplicable de lo indicado en el artículo 400. Para la compactación, se deben poner a disposición de los trabajos, como mínimo, un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixtos y uno (1) de llantas neumáticas.

450.4 Ejecución de los trabajos

450.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

450.4.2 Diseño de la mezcla y la 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 de la mezcla

Las mezclas en caliente objeto del presente artículo, se deben diseñar por el método Marshall, de acuerdo con los pasos descritos en la Tabla 450 – 8.

Tabla 450 – 8. Pasos por seguir para el diseño de mezclas asfálticas en caliente de gradación continua.

Pasos	Descripción	Numeral
Diseño preliminar	- Estabilidad y flujo Marshall - Propiedades volumétricas	450.4.2.2.1
Verificación del diseño preliminar	- Susceptibilidad al agua - Resistencia al ahuellamiento - Módulo de rigidez - Resistencia a la fatiga	450.4.2.2.2

450.4.2.2.1 Diseño preliminar

Los criterios para la definición preliminar del porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla son los indicados en la Tabla 450 – 9.

450.4.2.2.2 Verificación del diseño preliminar

El diseño preliminar que cumpla los requisitos de la Tabla 450 – 9 se debe someter a

las pruebas de verificación relacionadas en la Tabla 450 – 10 y cumplir los requisitos allí establecidos. La verificación se debe adelantar en la secuencia indicada en esta tabla; las probetas se deben elaborar con la mezcla definida como óptima en el diseño preliminar mencionado en el numeral anterior.

Tabla 450 – 9. Criterios para el diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua 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 (E-800) (Nota 1)	50	75 (112)	75 (112)	75	
Estabilidad mínima (N)		5 000	7 500 (16 875)	9 000 (20 250)	15 000	
Flujo (mm). (Nota 2)		2,0 – 4,0	2,0 – 4,0 (3,0 – 6,0)	2,0 – 3,5 (3,0 – 5,3)	2,0 – 3,0	
Relación Estabilidad/Flujo (kN/mm)		2,0 – 4,0	3,0 – 5,0 (4,5 – 7,5)	3,0 – 6,0 (4,5 – 9,0)	-	
Vacíos con aire (Va) (%). (Nota 3)	Rodadura	E-736 E-799	3,0 – 5,0	3,0 – 5,0	3,0 – 5,0	4,0 – 6,0
	Intermedia		4,0 – 8,0	4,0 – 7,0	4,0 – 7,0	4,0 – 6,0
	Base		NA	5,0 – 8,0	5,0 – 8,0	4,0 – 6,0

Característica	Norma Ensayo INV	Mezclas densas, semidensas y gruesas			Mezcla de alto módulo
		Categoría de tránsito			
		NT1	NT2	NT3	
Vacíos en los agregados minerales (VAM), mínimo (%)	T. Máx. 38 mm	13,0			-
	T. Máx. 25 mm	14,0			14,0
	T. Máx. 19 mm	15,0			-
	T. Máx. 10 mm	16,0			-
Vacíos llenos de asfalto (VFA) (%)	E-799	65 – 80	65 – 78	65 – 75	63 – 75
Relación Llenante/Ligante efectivo, en peso	E-799	0,8 – 1,2			1,2 – 1,4
Concentración de llenante, valor máximo	E-745	Valor crítico			
Evaluación de propiedades de empaquetamiento por el método Bailey	-	Reportar			
Espesor promedio de película de asfalto, mínimo (µm)	E-741	7,5			

Nota 1: se debe usar la norma de ensayo INV E-800, en lugar de la INV E-748 cuando los agregados tengan un tamaño máximo superior a veinticinco milímetros (25 mm) (1 pulgada). Los valores entre paréntesis corresponden a ensayos efectuados, de acuerdo con la norma INV E-800.

Nota 2: para mezclas elaboradas con asfaltos modificados con polímeros, se puede aceptar un valor de flujo hasta de cinco milímetros (5,0 mm). En cualquier caso, se debe cumplir el requisito establecido en la respectiva columna de la tabla para la relación Estabilidad/Flujo.

Nota 3: para bacheos en capas de cincuenta a setenta y cinco milímetros (50 mm – 75 mm) de espesor, se deben exigir los requisitos de vacíos con aire de «intermedia» y para los de capas de más de setenta y cinco milímetros (75 mm) se deben exigir los requisitos para «base». Si se llegase a efectuar un bacheo con mezcla asfáltica en caliente en espesor mayor de setenta y cinco milímetros (75 mm) en una vía cuyo tránsito de proyecto es NT1, se debe aplicar el criterio de vacíos con aire para las capas de «base» con tránsito NT2 (5 % – 8 %).

La verificación de los parámetros del comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente de gradación continua se designa teniendo en cuenta cuatro niveles de comportamiento:

- Nivel 1: Compactación: Marshall + sensibilidad al agua.
- Nivel 2: Nivel 1 + Ahuellamiento: Resistencia a la deformación plástica o Resistencia al ahuellamiento.

- Nivel 3: Nivel 2 + Módulos de rigidez: Módulo complejo y/o Módulo resiliente.
- Nivel 4: Nivel 3 + Fatiga: Leyes de fatiga.

El constructor debe reportar el nivel de comportamiento de cada mezcla asfáltica del proyecto.

Las probetas se deben elaborar con la mezcla definida como óptima, con las mismas

condiciones de compactación. Se recomienda que, para los niveles de exigencia 2, 3 y 4, las probetas a utilizar en los ensayos de verificación de mezclas asfálticas, sean extraídas de placas compactadas. Se permite la elaboración de probetas con compactador de placa según lo estipulado en la norma

UNE-EN 12697-33. Se da la posibilidad de fabricar placas compactadas usando otros métodos alternos de compactación, siempre que representen las condiciones reales de la mezcla según las condiciones del lugar de ejecución del trabajo.

Tabla 450 — 10. Verificación de los parámetros de comportamiento de mezclas asfálticas

Propiedad	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor	Aplicabilidad obligatoria
Sensibilidad al agua						
Susceptibilidad al agua	INV E-725	Resistencia retenida	25 °C, condición seca y húmeda	%	≥ 80	Todos los tipos de mezclas
Ahuellamiento (Nota 1)						
Resistencia a la deformación plástica	INV E-756	Resistencia a la deformación plástica	Velocidad de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos, a la temperatura media anual del aire > 24 °C	µm/min	≤ 15	Tránsito NT3: para capas de rodadura e intermedia
						MAM-25
			Velocidad de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos, a la temperatura media anual del aire ≤ 24 °C	µm/min	≤ 20	MAM 19
						Todas las mezclas (Opcional)
Módulos de rigidez						
Módulo resiliente	INV E-749	Módulo resiliente	Mezclas compactadas con 75 golpes por cara, a 20 °C a 10 Hz	MPa	≥ 10 000	MAM-25
					≥ 8 000	MAM-19
					Reportar (Nota 2)	Todas las mezclas (Opcional)

Propiedad	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor	Aplicabilidad obligatoria
Módulo complejo	UNE-EN 12697-26 (Anexo D: de tracción/compresión directa)	Valor absoluto del módulo complejo $ E^* $	20 °C, 10 Hz	MPa	Reportar (Nota 2)	Tránsito NT3: Todos los tipos de mezclas
						MAM-25
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	MPa	Reportar (Nota 2)	MAM-19
						Todas las mezclas (Opcional)
Fatiga						
Leyes de fatiga	INV E-808 INV E-784 UNE-EN 12697-24	Deformación a un millón de ciclos ϵ_6	20 °C, frecuencia entre 10 Hz y 20 Hz	μm	≥ 130	MAM-25
					≥ 100	MAM-19
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	μm	Reportar (Nota 2)	Tránsito NT3: Todos los tipos de mezclas
						Todas las mezclas (Opcional)
						MAM-25
						MAM-19
						Tránsito NT3: Todos los tipos de mezclas
						Todas las mezclas (Opcional)

Propiedad	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor	Aplicabilidad obligatoria
Leyes de fatiga	INV E-808 INV E-784 UNE-EN 12697-24	Pendiente -1/b de la recta de fatiga	20 °C, frecuencia entre 10 Hz y 20 Hz	-	Reportar (Nota 2)	MAM-25
						MAM-19
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	-	Reportar (Nota 2)	Tránsito NT3: Todos los tipos de mezclas
						Todas las mezclas (Opcional)

Nota 1: para el control de ahuellamiento se puede emplear el «ensayo de rodadura» según la norma UNE-EN 12697-22 (ver numeral 450.4.2.2.2.2).

Nota 2: los documentos del proyecto deben establecer los valores mínimos que se deben cumplir.

Nota 3: la temperatura de ejecución del ensayo debe estar en función de la temperatura promedio del lugar de ejecución del trabajo.

Nota 4: la frecuencia de ejecución del ensayo debe estar en función de la velocidad de operación promedio del lugar de ejecución del trabajo.

450.4.2.2.2.1 Resistencia retenida

Si la mezcla no cumple el requisito de resistencia retenida, se debe incrementar su adhesividad hasta que cumpla con el mismo, empleando un llenante mineral apropiado y/o aditivo mejorador de adherencia.

el método de ensayo INV E-756 o el ensayo de rodadura según la norma UNE-EN 12697-22, caso en el cual los criterios de aceptación se deben definir con base en especificaciones internacionales de comprobada aceptación.

450.4.2.2.2.3 Módulo de rigidez

450.4.2.2.2.2 Resistencia a la deformación plástica

Para el control de la resistencia de la mezcla a la deformación plástica, se puede emplear

450.4.2.2.2.3.1 Módulo resiliente

El módulo resiliente puede ser determinado mediante el procedimiento de ensayo definido en la norma INV E-749 o de forma alternativa,

empleando alguno de los procedimientos de ensayo definidos en normas internacionalmente comprobadas, cuyo resultado debe ser equivalente al definido para la norma INV E-749.

Los ensayos 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 del proyecto.

La determinación del módulo resiliente es obligatoria para las mezclas de alto módulo. El valor del módulo a veinte grados Celsius (20 °C) y a una frecuencia de diez Hertz (10 Hz) de estas mezclas, debe ser mínimo de diez mil megapascales (10 000 MPa) para capas de base (MAM-25) y de ocho mil megapascales (8 000 MPa) para capas de rodadura (MAM-19). Las probetas que se sometan a este ensayo deben 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, es necesario rediseñar la mezcla hasta lograr su cumplimiento.

450.4.2.2.3.2 Módulo complejo

El valor absoluto del módulo complejo puede ser determinado mediante el procedimiento de ensayo definido en la norma UNE-EN 12697-26 (Anexo D).

Se deben realizar ensayos de tracción/compresión directa sobre probetas cilíndricas, las cuales deben tener características de densidad representativas de las condiciones reales de operación del pavimento. Se deben reportar:

- Valor absoluto del módulo complejo $|E^*|$ a veinte grados Celsius (20 °C), diez Hertz (10 Hz).

- Valor absoluto del módulo complejo $|E^*|$ a una temperatura y una frecuencia representativa de las condiciones reales de operación del pavimento. Estas condiciones deben estar estipuladas en los documentos del proyecto.

Para tránsito del tipo NT3, se deben reportar los valores absolutos del módulo complejo obtenidos para todos los tipos de mezclas. Los documentos del proyecto pueden fijar valores mínimos o máximos del valor absoluto del módulo complejo correspondiente a estos tipos de mezclas.

450.4.2.2.4 Leyes de fatiga

Las leyes de fatiga se pueden determinar aplicando alguno de los procedimientos de ensayo de las normas INV E-784 o INV E-808 o de forma alternativa, empleando alguno de los procedimientos de ensayo definidos en normas internacionalmente comprobadas. Los ensayos 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 del proyecto.

La determinación de la ley de fatiga es obligatoria para las mezclas de alto módulo según lo estipulado en la Tabla 450 – 10. Las probetas que se sometan a este ensayo deben ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo según la norma de ensayo AASHTO R-30.

Para tránsito del tipo NT3, se deben determinar y reportar las leyes de fatiga obtenidas para mezclas densas, semidensas y gruesas. Las probetas que se empleen en este ensayo no tienen que ser sometidas a envejecimiento

previo. Igualmente, los documentos del proyecto pueden fijar valores mínimos o máximos para las leyes de fatiga correspondiente a estos tipos de mezclas.

Los resultados de los ensayos de fatiga para mezclas de alto módulo (MAM-25 y MAM-19) deben cumplir con lo establecido en la Tabla 450 – 10. El constructor debe asegurar que las leyes de fatiga de los otros tipos de mezclas que elabore sean adecuadas para las necesidades de tránsito del proyecto donde se debe utilizar, por cuanto debe ser 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.

450.4.2.2.3 Ajuste de la fórmula de trabajo

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

450.4.3 Preparación de la superficie existente

La mezcla no se debe extender hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan de las tolerancias establecidas en la especificación respectiva deben 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 deben realizar conforme lo establecen los artículos 420 y 421, respectivamente.

Antes de aplicar la mezcla, se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego previo y no deben quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial. Si ello sucede, el constructor debe efectuar un riego adicional de adherencia. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor, el nuevo riego debe realizarlo sin costo adicional para INVÍAS.

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer el nivel actual, se deben ejecutar 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 tal excavación. Si la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que, de acuerdo con los estudios y documentos del proyecto, requiere un fregado previo, este se debe realizar conforme se establece en el artículo 460.

450.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

450.4.5 Aprovisionamiento de los agregados

Los agregados se deben suministrar fraccionados y se deben manejar separados

hasta su introducción en las tolvas en frío. El número de fracciones debe ser tal, que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y se debe poder acopiar y manejar, sin peligro de segregación, al observar 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 debe permitir, 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 debe acopiar separada de las demás, para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Los acopios se deben construir por capas de espesor no superior a uno coma cinco metros (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se deben acopiar por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se debe aplicar 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 debe realizar de forma que estas contengan más del cincuenta por ciento (50 %) de su capacidad, pero sin rebosar. En las operaciones de carga

se deben tomar las precauciones necesarias, para evitar segregaciones o contaminaciones. La alimentación del agregado fino se debe realizar en dos (2) tolvas, así este sea de un tipo único.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se deben regular en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se debe regular, de acuerdo con la producción prevista y se debe mantener constante la alimentación del secador.

Los agregados se deben calentar antes de su mezcla con el asfalto. El secador se debe regular 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 debe detener la producción hasta que se identifiquen y se 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 puede introducir en la mezcla. En caso contrario, se debe eliminar. El tiro de aire en el secador se debe 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 debe hacer de manera independiente de los agregados y entre sí.

En las plantas de tipo discontinuo, se debe comprobar que la unidad clasificadora en caliente proporcione agregados homogéneos

a las tolvas en caliente. En caso contrario, se deben tomar las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad.

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se deben pesar exactamente y se deben transportar al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. Después de haber introducido en el mezclador los agregados y el llenante, se debe agregar automáticamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual se debe encontrar a la temperatura adecuada, y se debe continuar 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. La temperatura conveniente es aquella a la cual el ligante presenta una viscosidad entre ciento cincuenta y trescientos centistokes (150 cSt – 300 cSt). Es preferible que se encuentre entre ciento cincuenta y ciento noventa centistokes (150 cSt – 190 cSt).

El volumen de materiales en el mezclador no debe ser tan grande, que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical. Es recomendable que no supere los dos tercios (2/3) de su altura, de forma que logre ser envuelta completa y uniformemente, para los tiempos de mezclado establecidos en la fórmula de trabajo.

Todos los tamaños del agregado deben 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

debe exceder la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

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

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

Siempre que se emplee un silo para el almacenamiento de la mezcla elaborada, esta se debe verter dentro del silo, tomando las precauciones necesarias para que no se ocasione segregación. En el instante de la descarga del silo a las volquetas, se debe procurar realizarla con la mayor rapidez, con el fin de disminuir la posibilidad de segregación en los platones 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 debe 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 debe transportar a la obra, hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar

correctamente con luz solar. Solo se debe permitir el trabajo en horas de la noche si, por instrucción y verificación del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y la compactación de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla, se deben 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 deben limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deben mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos, y sus cargas por eje y totales se deben encontrar dentro de los límites fijados por la normativa 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 debe descargar la mezcla en la tolva de almacenamiento de la máquina, cuyas bandas transportadoras se deben encargar de alimentar la pavimentadora, sin que esta sea tocada por las llantas de la volqueta, favoreciendo de esta manera la regularidad superficial.

450.4.9 Extensión de la mezcla

La máquina pavimentadora debe extender la mezcla recibida de la volqueta o de la máquina de transferencia, de modo que se cumplan los alineamientos, los anchos y los espesores señalados en los documentos del proyecto.

A menos que el interventor expida una instrucción contraria, la extensión se debe realizar en franjas longitudinales y debe comenzar 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 debe colocar 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 se debe extender, mientras el borde de la anterior aún se encuentre caliente y en condiciones de ser compactado, con el fin de evitar la ejecución de una junta longitudinal.

La pavimentadora se debe regular 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 indicadas en los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se permite el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella. Tampoco se debe permitir la segregación de la mezcla. Si ella ocurre, la extensión de la mezcla se debe suspender inmediatamente, hasta que se determine y corrija su causa. Toda área segregada que no se corrija antes de la compactación, se debe remover y reemplazar con material apropiado, a expensas del constructor.

La extensión de la mezcla se debe realizar 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. Toda imperfección superficial debe ser corregida antes de compactar. Se debe vigilar de manera especial esta condición en los inicios de la jornada, en los relevos de vehículos de suministro y al finalizar la jornada. De ser necesario se debe reservar parte de la mezcla para corregir y nivelar con herramienta menor todas aquellas áreas de difícil ejecución para la pavimentadora.

En caso de trabajo intermitente, se debe comprobar que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva o bajo la pavimentadora, no disminuya de la especificada para el inicio de la compactación. De lo contrario, dicha mezcla se debe descartar y ejecutar una junta transversal. Tras la pavimentadora se debe disponer de 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 no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla se puede extender a mano. La mezcla se debe descargar fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se debe distribuir 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 documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

Se debe verificar la temperatura de la mezcla al inicio y al final del proceso de extensión.

450.4.10 Compactación de la mezcla

La compactación se debe realizar según el plan aprobado por el interventor como resultado de 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.

La compactación se debe realizar longitudinalmente, de manera continua y sistemática, y no se debe efectuar hasta que los defectos en la fase de extensión hayan sido corregidos. Debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado debe avanzar 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 se haya compactado. Si la extensión de la mezcla se realiza por franjas, al compactar una de ellas, se debe ampliar la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el interventor y sus cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada. Los elementos de compactación deben estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos. Sin embargo, no se deben permitir excesos de agua.

Se debe tener cuidado al compactar, para no desplazar los bordes de la mezcla extendida.

Se debe chaflanar ligeramente los bordes exteriores del pavimento terminado.

La compactación se debe realizar de manera continua, durante la jornada de trabajo y se debe complementar con el trabajo manual mínimo necesario para corregir todas las irregularidades que se puedan presentar.

La compactación se debe continuar mientras la mezcla se encuentre en condiciones de ser compactada, hasta alcanzar los niveles de densidad prescritos en este artículo y se debe concluir con un apisonado final usando un equipo liso que borre las huellas dejadas por los compactadores precedentes.

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

450.4.11 Juntas de trabajo

Las juntas deben presentar la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa compactada.

Las juntas entre pavimentos nuevos y viejos, o entre trabajos realizados en días sucesivos, se deben cuidar, con el fin de asegurar su perfecta adherencia. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad, se les debe aplicar una capa uniforme y ligera de riego de liga, antes de colocar la mezcla nueva, para dejarla curar suficientemente.

El borde de la capa extendida previamente se debe cortar de manera vertical con cortadora de disco o con herramienta manual que permita una superficie relativamente plana y vertical, sobre la cual se debe efectuar riego de liga en todo su espesor según los especificado en el artículo 421. La junta se debe nivelar y pulir con elementos adecuados antes

de permitir el paso de equipos de compactación sobre ella.

Las juntas transversales en la capa de rodadura se deben compactar transversalmente.

Cuando los bordes de las juntas longitudinales sean irregulares, presenten huecos o estén deficientemente compactados, se deben cortar con disco o herramientas adecuadas, para dejar al descubierto una superficie lisa vertical en todo el espesor de la capa. Donde el interventor lo considere necesario, se debe añadir mezcla que, después de colocada y compactada con pisones, se debe compactar mecánicamente.

Se debe procurar que las juntas de capas superpuestas guarden una separación mínima de cinco metros (5 m) en el caso de las transversales y de ciento cincuenta milímetros (150 mm) en el caso de las longitudinales.

La junta longitudinal de construcción entre franjas continuas conformadas por un pavimento viejo y uno nuevo, deben ser tratadas con riego de liga según lo especificado en el artículo 421, y precalentadas entre noventa y ciento cincuenta grados Celsius (90 °C – 150 °C). Si ambas franjas son de pavimentos nuevos y registran temperaturas por debajo de noventa grados Celsius (90 °C), también deben ser precalentadas pero no requieren riego de liga.

Para lograr alta densificación en las juntas se debe iniciar la compactación desde el borde de la franja recién extendida hasta quince centímetros (15 cm) antes del llegar a la junta. Posteriormente desde la franja compacta y con el uso de herramienta manual se debe llevar hacia la junta el material fresco que esté sobre la superficie de tal forma que no queden

rebabas. Seguidamente, el centro del rodillo se debe hacer coincidir con el cordón de mezcla fresca situado entre el pavimento recién extendido y el de la franja adyacente, para proceder con la respectiva compactación. Al finalizar la operación se deben verificar condiciones de planicidad. El interventor no debe permitir juntas con acabados de mezcla remontada, acordonada o con segregación. El incumplimiento de este requisito puede dar lugar al rechazo del lote de la jornada.

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

Las losas de los puentes y los viaductos se deben pavimentar 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.

Las pavimentadoras y los equipos de compactación deben conservar distancias de diez a quince centímetros (10 cm – 15 cm) respecto a elementos de redes de servicio para evitar ser golpeados, manchados o desportillados durante la ejecución de los trabajos. En el perímetro de estos elementos, los ajustes deben ser con apisonadores y herramienta manual, conservando los niveles y acabados respectivos, de tal forma que se eviten zonas de encharcamiento o protuberancias que excedan las tolerancias del presente artículo. Durante la ejecución del riego de liga y la extensión de la mezcla asfáltica, el constructor debe proteger con lonas, papel o similares, todas aquellas partes de las obras de urbanismo que puedan ser alcanzadas por el material bituminoso. El constructor es responsable por cualquier daño que causen las operaciones de sus equipos y, en conse-

cuencia, todos los trabajos de reparación y limpieza deben correr 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 emplear 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 deben rellenar con una mezcla asfáltica en caliente de uno de los tipos señalados en la Tabla 450 – 6.

Cuando la excavación sea de profundidad menor o igual a ciento cincuenta milímetros (150 mm), se debe rellenar 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 – 7, según el espesor elegido para la capa compactada. De todas maneras, la capa superior del bacheo no puede tener un espesor superior a setenta y cinco milímetros (75 mm).

En todos los casos, las capas se deben compactar con equipos adecuados, hasta lograr los niveles de densidad prescritos en este artículo.

Tanto la superficie que recibe las capas asfálticas como las paredes de la excavación en contacto con ellas, se deben pintar con un riego de liga con emulsión asfáltica, conforme a las instrucciones del interventor.

El tipo y espesor de las mezclas asfálticas en caliente para operación de bacheo sobre pavimentos muy gruesos y complejos (múltiples intervenciones de rehabilitación), se deben definir en los documentos del respectivo proyecto o, en su defecto, deben ser aprobados 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 puede abrir al tránsito tan pronto la capa extendida alcance en todo su espesor una temperatura menor de cuarenta y cinco grados Celsius (45 °C). Por ningún motivo se debe permitir la acción de cualquier tipo de tránsito sobre las capas en ejecución.

450.4.15 Limitaciones en la ejecución

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

Tampoco se debe permitir 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 pueden ser inferiores a ocho grados Celsius (8 °C).

Los trabajos de construcción de la mezcla asfáltica en caliente se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo

especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe 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 el artículo 106, Aspectos ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

450.4.17 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, los debe corregir el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta contar con la aprobación de este. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

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

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el cemento asfáltico deben ser los establecidos en los artículos 410 o 414, según corresponda.

450.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

450.5.2.2.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 450 – 2.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral y para cualquier volumen previsto, se deben tomar dos (2) muestras y sobre ellas se debe determinar la densidad *bulk*, según la norma INV E-225.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en numeral 450.2.1, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

450.5.2.2.2 Control de producción

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

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 450 – 11 para los agregados grueso y fino, y en la Tabla 450 – 12 para el llenante mineral de aporte.

Tabla 450 – 11. Ensayos de verificación sobre los agregados para mezclas en caliente de gradación continua

Característica	Norma de ensayo	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	INV E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	INV E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	INV E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos	INV E-224	1 por mes
Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura	INV E-232	Cuando cambie la procedencia de los agregados

Característica	Norma de Ensayo	Frecuencia
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	INV E-220	1 por mes
Análisis petrográfico (Nota 1)		
Porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado	ASTM C295/UNE 932	1 por año
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	INV E-237	1 por semana
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad	INV E-125 y INV E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	INV E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno	INV E-235	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Índices de alargamiento y aplanamiento	INV E-230	1 por semana
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	INV E-240	1 por semana
Caras fracturadas	INV E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	INV E-239	1 por jornada
Adhesividad, gradación (O)		
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo.	INV E-757	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber).	INV E-739	
Gravedad específica		
Gravedad específica y absorción	INV E-222 y INV E-223	1 por mes y siempre que cambie la procedencia de agregados

Nota 1: este ensayo es aplicable únicamente para tránsito NT3.

Nota 2: en caso de que se requiera, según se indica en el numeral 450.2.1.

Tabla 450 – 12. Ensayos de verificación sobre el llenante mineral de aporte para mezclas en caliente de gradación continua

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Granulometría	E-215	1 por suministro
Densidad bulk	E-225	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante
Vacios del llenante seco compactado (%)	E-229	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en las Tablas 450 – 11 y 450 – 12, 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 debe permitir el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 450.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar 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, 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:

450.5.2.3.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un (1) lote, definido como se indica en el numeral 450.5.2.5.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener una tolerancia de

cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF \% - 0,3 \% \leq ART \% \leq ARF \% + 0,3 \%$$

[450.1]

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor promedio (*ART* %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART \% - 0,5 \% \leq ARI \% \leq ART \% + 0,5 \%$$

[450.2]

Un porcentaje de asfalto residual promedio (*ART* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no existen problemas de comportamiento de la mezcla ni, en el caso de la capa de rodadura, problemas de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, 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.

450.5.2.3.2 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 450 — 5, 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 mezcla se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 450.4.2. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se debe rechazar el lote.

En caso de rechazo, 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.

450.5.2.4 Calidad de la mezcla

450.5.2.4.1 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 450 — 9, de acuerdo con el nivel de tránsito de diseño.

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 450 – 9, 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 proceder a determinar la estabilidad y el flujo de las cuatro (4) probetas.

450.5.2.4.2 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_f).

$$E_m \geq 0,90 * E_t \quad [450.3]$$

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 450 — 9.

$$1,25 * E_t \geq E_i \geq \text{valor mínimo de la} \\ \text{Tabla 450 — 9} \\ [450.4]$$

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.

$$E_i \geq 0,80 * E_m \quad [450.5]$$

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 fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

450.5.2.4.3 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 450 — 9.

$$0,80 * F_t \leq F_m \leq 1,20 * F_t \quad [450.6]$$

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido en la Tabla 450 — 9, 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.

450.5.2.4.4 Relación estabilidad/flujo

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

Los valores obtenidos se deben encontrar dentro de los límites establecidos en la Tabla 450 — 9, 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 debe rechazar el lote, así los valores individuales de estabilidad y de flujo sean satisfactorios.

En caso de rechazo, 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.

450.5.2.4.5 Susceptibilidad a la humedad

Cada vez que el interventor lo considere necesario, de acuerdo con el aspecto y el comportamiento de la mezcla colocada, se debe verificar 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 deben moldear seis (6) probetas con la mezcla que se está elaborando, tres (3) de las cuales se deben curar en seco y tres (3) bajo condición húmeda, para determinar la resistencia promedio de cada grupo, como lo establece la norma. La resistencia del grupo curado en húmedo debe 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 implica la realización del ensayo sobre núcleos tomados de los diferentes lotes, cuya mezcla considere el interventor que puede presentar este problema (seis (6) núcleos por lote, tres (3) curados en seco y tres (3) bajo condición húmeda). Los lotes de material que no cumplan con el requisito se deben rechazar. Además, los trabajos se deben 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.

450.5.2.4.6 Contenido de agua

Siempre que la apariencia de la mezcla indique la posible presencia de agua en ella, se debe determinar el contenido de agua en la mezcla asfáltica, según las normas de ensayo INV E-755 o INV E-783.

El contenido de agua en cualquier mezcla asfáltica en caliente no puede ser mayor de cero coma cinco por ciento (0,5 %). Los volúmenes de mezcla que no cumplan con este requisito deben ser rechazados.

450.5.2.4.7 Módulo de rigidez

450.5.2.4.7.1 Módulo resiliente

Sobre las mezclas asfálticas de alto módulo (MAM) se debe determinar el módulo resiliente, en condición laboratorio, según la norma de ensayo INV E-749, o de forma alternativa, empleando alguno de los procedimientos de ensayo definidos en normas internacionalmente comprobadas. La prueba se debe realizar por duplicado a la temperatura y la frecuencia indicadas en el numeral 450.4.2.2.2.3.1., es decir, un mínimo de dos (2) muestras a veinte grados Celsius (20 °C) y diez Hertz (10 Hz). El valor obtenido para la condición de veinte grados Celsius (20 °C) y diez Hertz (10 Hz) debe ser como mínimo de diez mil megapascales (10 000 MPa) para capas de base (MAM-25) y de ocho mil megapascales (8 000 MPa) para capas de rodadura (MAM-19).

En caso de aplicar algún procedimiento de ensayo alternativo a la norma de ensayo INV E-749, se deben conservar las condiciones de elaboración de probetas, la frecuencia y la temperatura de ensayo. El valor de módulo obtenido para la condición de veinte grados Celsius (20 °C) y diez Hertz (10 Hz) debe ser equivalente al de diez mil megapascales (10 000 MPa) para capa de base (MAM-25) y de ocho mil megapascales (8 000 MPa) para capas de rodadura (MAM-19). En este caso, se deben utilizar ecuaciones de equivalencia debidamente comprobadas entre los resultados de los ensayos. Las pruebas deben ser conformes, antes de cualquier puesta en obra.

Con respecto al control en obra del módulo resiliente de mezclas del tipo MAM, se debe realizar un muestreo con extracción de nú-

cleos de la capa compactada cada cinco mil metros cúbicos (5000 m³) o por el volumen total compactado, si la obra contempla la construcción de un volumen total inferior a dicha cantidad. En este caso, el interventor debe conservar suficientes probetas adicionales para posteriores ensayos de contraste.

Los ensayos de contraste deben presentar un valor promedio del módulo resiliente mayor de diez mil megapascales (10 000 MPa) para capa de base (MAM-25) y de ocho mil megapascales (8 000 MPa) para capas de rodadura (MAM-19). Si este valor mínimo no se cumple, el volumen de mezcla objeto del control se debe rechazar y el constructor lo debe fresar y retirar, sin costo adicional para INVÍAS, y reemplazarlo por otro de calidad satisfactoria. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

Si las especificaciones particulares establecen requisitos sobre módulos resilientes para otras mezclas del proyecto, se debe seguir un proceso de verificación similar al mencionado para las mezclas de alto módulo según lo estipulado en la Tabla 450 – 10.

450.5.2.4.7.2 Módulo complejo

Sobre las mezclas asfálticas de alto módulo (MAM) se debe determinar el módulo complejo, en condición laboratorio, según la norma de ensayo UNE-EN 12697-26 (Anexo D). La prueba se debe realizar por duplicado a la temperatura y la frecuencia indicadas en el numeral 450.4.2.2.2.3.2., es decir, un mínimo de cuatro (4) muestras, dos (2) a condición de temperatura y frecuencia del proyecto, y dos (2) a veinte grados Celsius (20 °C) y diez Hertz (10 Hz). La prueba debe ser conforme, antes de cualquier puesta en obra de la mezcla, según los parámetros establecidos en los documentos del proyecto y se deben reportar los valores del valor absoluto del módulo complejo.

Con respecto al control en obra del módulo complejo, se asume válido, si:

- Las formulaciones en condición de laboratorio anteriormente indicadas son conformes.

- El control de contenido de asfalto en obra (450.5.2.3.1) es conforme.
- El control de la granulometría de los agregados en obra (450.5.2.3.2) es conforme.
- El control de la compactación en obra (450.5.2.5.3) es conforme.

Si las especificaciones particulares establecen requisitos sobre módulos complejos para otras mezclas del proyecto, se debe seguir un proceso de verificación similar al mencionado para las mezclas de alto módulo según lo estipulado en la Tabla 450 – 10.

450.5.2.4.8 Leyes de Fatiga

Sobre las mezclas asfálticas de alto módulo (MAM) se deben determinar las leyes de fatiga, en condición laboratorio, aplicando alguno de los procedimientos de ensayo de las normas INV E-784 o INV E-808 o de forma alternativa, empleando alguno de los procedimientos de ensayo definidos en normas internacionalmente comprobadas. Las pruebas deben ser realizadas por duplicado, sobre probetas preparadas de acuerdo con lo definido en la norma correspondiente, a la temperatura y frecuencia indicadas en el numeral 450.4.2.2.2.4., es decir, un mínimo de dos (2) muestras, una (1) en condición de temperatura y frecuencia del proyecto, y una (1) a veinte grados Celsius (20 °C) y una frecuencia entre diez Hertz (10 Hz) y veinte Hertz (20 Hz). Los valores obtenidos de deformación a un (1) millón de ciclos (ϵ_6) y pendiente (-1/b) de la recta de fatiga debe cumplir con los valores mínimos establecidos en la Tabla 450 – 10. Las pruebas deben ser conformes, antes de cualquier puesta en obra.

Con respecto al control en obras de leyes de fatiga, se asume válido, si:

- Las formulaciones en condición de laboratorio anteriormente indicadas son conformes.
- El control de contenido de asfalto en obra (450.5.2.3.1) es conforme.
- El control de la granulometría de los agregados en obra (450.5.2.3.2) es conforme.
 - El control de la compactación en obra (450.5.2.5.3) es conforme.

En el caso eventual de evidencia de degradación a corto plazo de la capa asfáltica o de la estructura de pavimento, el interventor debe exigir la extracción

de muestras para la evaluación respectiva de leyes de fatiga. En dicho caso, se debe realizar un muestreo con extracción de muestra cada 50 m³ o por el volumen total compactado, si la obra contempla la construcción de un volumen total inferior a dicha cantidad. En caso, el interventor debe conservar suficientes probetas adicionales para posteriores ensayos de contraste.

Se deben realizar los ensayos de contraste de acuerdo a lo establecido en la Tabla 450 — 10. Si este valor mínimo no se cumple, el volumen de mezcla objeto del control debe ser rechazado y el constructor debe fresarlo y retirarlo, sin costo adicional para INVÍAS, y reemplazarlo por otro de calidad satisfactoria. El material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

Si las especificaciones particulares establecen requisitos sobre leyes de fatiga para otras mezclas del proyecto, se debe seguir un proceso de verificación similar de al cualquier mencionado punto de la para mezcla las asfáltica mezclas de alto módulo.

450.5.2.5 Calidad del producto terminado

450.5.2.5.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o se rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla asfáltica en caliente:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla en caliente colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de mezcla en caliente colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Específicamente para la determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), la definición de lote es como se indica en el numeral 450.5.2.5.9.

450.5.2.5.2 Aspectos generales

La capa terminada de mezcla asfáltica en caliente debe presentar una superficie

uniforme y se debe ajustar 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 puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto.

La cota de cualquier punto de la mezcla asfáltica compactada en capas de base no debe variar en más de quince milímetros (15 mm) de la proyectada, y la variación no puede exceder de diez milímetros (10 mm) cuando se trate de capas intermedia y de rodadura.

Todas las áreas donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, así como aquellas en que se presente retención de agua en la superficie, deben ser corregidas por el constructor de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobado por este, sin costo adicional para INVÍAS.

Además, se deben realizar las siguientes verificaciones.

450.5.2.5.3 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:

$$GC_i = \frac{\rho_i}{G_{mm} * \rho_w} * 100 \quad [450.7]$$

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:

$GC_i (90) \geq GC_{min}$ se acepta el lote [450.8]

$GC_i (90) < GC_{min}$ se rechaza el lote [450.9]

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, en porcentaje, según la Tabla 450 – 13.

Para los fines de determinar la conformidad con los valores indicados en la Tabla 450 – 13, el valor calculado del grado de compactación, expresado en porcentaje, se debe redondear al primer decimal, de acuerdo con el método del redondeo de la norma INV E-823.

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.

Tabla 450 – 13. Grado de compactación mínimo (GC_{min})

Tipo de capa	Grado de compactación mínimo (GC_{min}) (%)		
	Nivel de tránsito		
	NT1	NT2	NT3
Rodadura	94,0	94,0	93,0
Intermedia	92,0	92,0	92,0
Base	-	91,0	91,0
Alto módulo	-	-	93,0

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.

450.5.2.5.4 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).

$$e_m \geq e_d \quad [450.10]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0,98 * e_d \quad [450.11]$$

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.

450.5.2.5.4.1 Para capas de rodadura

El constructor debe proceder 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 colocar una capa adicional del mismo tipo de mezcla de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, cumpliendo todos los

requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas se debe ejecutar en acuerdo con el artículo 421.

Si la capa adicional no cumple alguno de los requisitos de este artículo, esta se debe fresar y reponer con una nueva de calidad satisfactoria, sin costo alguno para INVÍAS.

450.5.2.5.4.2 Para capas intermedias

Si el espesor promedio del lote es inferior al noventa y ocho por ciento del espesor de diseño ($e_m < 0,98 * e_d$), 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 y ocho por ciento del espesor de diseño ($e_m \geq 0,98 * e_d$) 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.

450.5.2.5.4.3 Para capas de base

Si el espesor promedio del lote es inferior al noventa y ocho por ciento del espesor de diseño ($e_m < 0,98 * e_d$), la capa que constituye el lote se debe rechazar y se debe levantar mediante fresado, y se debe reponer con 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 y ocho por ciento del espesor de diseño ($e_m < 0,98 * e_d$) 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 superior, sin costo adicional para INVÍAS.

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

En todos los casos en que la mezcla se debe fresar y reponer por presentar deficiencias en relación con el espesor, el material fresado en caso de rechazo es de propiedad del constructor.

450.5.2.5.5 Segregación térmica

En el caso de vías que presenten niveles de tránsito NT3, el constructor debe entregar al

interventor un registro termográfico, de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciado (norma INV E-788). Estos registros deben ser entregados al interventor a más tardar una semana después de la pavimentación del sector fotografiado y antes de la toma de núcleos para verificar la densidad. Estas fotografías tienen dos usos:

- Durante la construcción, el interventor puede ordenar la toma de núcleos en los sitios donde las imágenes muestren la presencia de sitios de menor temperatura, para verificar el porcentaje de vacíos de la mezcla colocada.
- Al final de la obra, las imágenes deben ser incluidas en el informe final de interventoría y deben servir a INVÍAS 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.

450.5.2.5.6 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar zonas de acumulación de agua, ni irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) en capas de rodadura o quince milímetros (15 mm) en capas de base o intermedias y bacheos, cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793; la regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que el interventor escoja al azar, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente. Las zonas que presenten deficiencias de este tipo se deben retirar preferiblemente mediante fresado, y

ser repuestas 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.

450.5.2.5.7 Textura

Las medidas de textura se deben realizar en los treinta días (30 d) de compactación de la capa, mediante el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos por controlar por lote debe ser de tres (3), que se deben ampliar a cinco (5), si la textura obtenida en uno (1) de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730.

La profundidad media de textura del lote no puede ser menor al mínimo admisible, que se defina en los documentos del proyecto, el cual no puede ser inferior a cero coma nueve milímetros (0,9 mm). Ningún valor individual puede ser inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido y no pueden existir áreas con evidencias indudables de segregación.

Si este requisito no se cumple, la capa de rodadura 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. Alternativamente y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo con el correspondiente

riego de liga, sin costo adicional para INVÍAS, del mismo espesor compacto que la anterior, para cumplir todos los requisitos de calidad de esta especificación.

450.5.2.5.8 Resistencia al deslizamiento

Una vez transcurridos, como mínimo, treinta días (30 d) de la puesta en servicio, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento sobre mezclas densas en caliente construidas para servir como capas de rodadura.

Debido a que la resistencia al deslizamiento se encuentra relacionada directamente con la seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se deben elegir al azar, sino que el interventor los debe ubicar en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular en condición de superficie húmeda.

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote, y ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 450 – 14, de acuerdo con el tránsito de diseño y el tipo de sección.

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales, para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser corregida por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS. Para ello, 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 fresaado en caso de rechazo es de propiedad del constructor. Alternativamente y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo, sin costo adicional para INVÍAS, de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, que cumpla todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar

para adherir las capas debe ejecutarlo de acuerdo con el artículo 421, sin costo adicional para INVÍAS.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 450 – 14 para el péndulo británico.

Tabla 450 – 14. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Tipo de capa	Coeficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo		
	NT1	NT2	NT3
Glorietas; curvas con radios menores 200 m; pendientes $\geq 5\%$ en longitudes de 100 m o más; intersecciones; zonas de frenado frecuente	50	55	60
Otras secciones	45	50	50

450.5.2.5.9 Regularidad superficial

El IRI se debe comprobar de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, este artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar, únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial. Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma de ensayo INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma de ensayo INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de

precisión, en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar, de acuerdo con la norma ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores del IRI se deben presentar en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituye un lote.

No debe haber exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos

que incluyan singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, reductores de velocidad, etc., los cuales debe definir el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación del IRI.

Se entiende que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 450 – 15.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados de la regularidad superficial (IRI) exceden los límites especificados no es superior a veinte por ciento (20 %) del total del lote, el interventor debe delimitar los sectores relevantes en el incumplimiento y debe

ordenar su corrección, mediante el fresado y la colocación de una nueva capa de mezcla asfáltica. El interventor debe establecer los espesores por fresar y reponer en cada tramo, y todos los costos que impliquen estas correcciones, deben ser asumidos por el constructor. El material fresado es de propiedad del constructor.

Si la proporción de hectómetros donde los resultados de IRI exceden los límites especificados es mayor del veinte por ciento (20 %) del total del lote, toda la longitud de este debe ser fresada y repuesta en el mismo espesor. El fresado, traslado y disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa, con la calidad exigida por el presente artículo, están a cargo del constructor. El material demolido es de propiedad del constructor. Este, a su vez, no puede invocar las reparaciones o reconstrucciones debidas a deficiencias en la regularidad superficial, como causal para incumplir el programa de trabajo.

Tabla 450 – 15. Valores máximos admisibles de IRI (m/km)

Porcentaje (%) de hectómetros	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 10 cm			Pavimentos rehabilitados en espesor ≤ 10 cm		
	NT1	NT2	NT3	NT1	NT2	NT3
40	2,4	1,9	1,4	2,9	2,4	1,9
80	3,0	2,5	2,0	3,5	3,0	2,5
100	3,5	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0

450.5.2.5.10 Construcción de capas de renivelación

Las mezclas para la construcción de capas de renivelación de un pavimento existente deben cumplir los mismos requisitos que se exigen

cuando se coloca como capa de base, si su espesor compacto es mayor o igual a setenta y cinco milímetros (75 mm). En caso contrario, deben cumplir los requisitos exigidos a la capa intermedia.

450.5.2.5.11 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a las capas asfálticas por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y debe ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar el pago al constructor, con el consentimiento previo de INVÍAS, al respectivo precio unitario del contrato.

450.5.2.5.12 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la homogeneidad de la estructura construida al nivel de la capa de mezcla asfáltica en caliente, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797, de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a este. Los resultados de las medidas, que se deben realizar en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no deben constituir base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que sirven a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios para el diseño estructural del pavimento.

En todo caso, se recomienda en la medida de lo posible que no se emplee la Viga Benkelman para las mediciones de las deflexiones de la capa, especialmente en niveles de tránsito altos como el NT3.

450.6 Medida

Rige lo descrito en el artículo 400 y, en particular, en el numeral 400.6.2. Para bacheos, se aplica lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo artículo.

450.7 Forma de pago

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

450.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
450.1	Mezcla densa en caliente tipo MDC-25	Metro cúbico (m ³)
450.2	Mezcla densa en caliente tipo MDC-19	Metro cúbico (m ³)
450.3	Mezcla densa en caliente tipo MDC-10	Metro cúbico (m ³)
450.4	Mezcla semidensa en caliente tipo MSC-25	Metro cúbico (m ³)
450.5	Mezcla semidensa en caliente tipo MSC-19	Metro cúbico (m ³)
450.6	Mezcla gruesa en caliente tipo MGC-38	Metro cúbico (m ³)
450.7	Mezcla gruesa en caliente tipo MGC-25	Metro cúbico (m ³)
450.8	Mezcla de alto módulo MAM-25	Metro cúbico (m ³)
450.10	Mezcla en caliente para bacheo MSC-25	Metro cúbico (m ³)
450.11	Mezcla en caliente para bacheo MGC-25	Metro cúbico (m ³)
450.12	Mezcla en caliente para bacheo MGC-38	Metro cúbico (m ³)
450.13	Mezcla de alto módulo MAM-19	Metro cúbico (m ³)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago diferente, para cada tipo de mezcla y capa que forme parte del contrato. Ellos se deben identificar agregando cifras al esquema numerado del ítem. Por ejemplo, si el contrato considera dos mezclas del tipo MDC-25, una para capa de rodadura y otra para capa intermedia, se puede identificar así:

450.1.1 Mezcla densa en caliente tipo MDC-25 para capa de rodadura.

450.1.2 Mezcla densa en caliente tipo MDC-25 para capa intermedia.

Mezcla abierta en caliente

Artículo 451 – 22

451.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una capa de mezcla asfáltica de tipo abierto, preparada y colocada en caliente, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

451.2 Materiales

451.2.1 Agregados pétreos

Los requisitos que se exigen en esta sección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica. En caso de no cumplirse alguno(s) de ellos, la aceptación o rechazo

respectivos deben ser evaluados según las premisas de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales. La aprobación debe ser sustentada mediante un informe técnico detallado, desarrollado por el especialista en pavimentos y/o geotecnia, donde se consigne cuál debe ser el desempeño y la durabilidad, proponiendo las estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento del diseño. El interventor debe aprobar o rechazar los materiales en función de los requisitos establecidos en esta sección y en los establecidos en el informe de desempeño del especialista.

Los agregados pétreos deben satisfacer los requisitos del numeral 400.2.1 del artículo 400. Además, deben cumplir los requisitos de calidad mencionados en la Tabla 451 — 1.

Tabla 451 — 1. Requisitos de los agregados para mezcla abierta en caliente

Característica	Norma de ensayo	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota 1):				
- 500 revoluciones	INV E-218	35	35	35
- 100 revoluciones		7	7	7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	INV E-238	-	30	25
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos:				
- Valor en seco, mínimo (kN)	INV E-224	-	-	90
- Relación húmedo/seco, mínimo (%)		-	-	75

Característica	Norma de ensayo	Nivel de tránsito		
		NT1	NT2	NT3
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio del agregado grueso, máximo (%).	INV E-220	18	18	18
Análisis petrográfico				
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado (Nota 2).	ASTM C295	-	-	Reportar
Limpieza, agregado grueso (F)				
Impurezas en agregado grueso, máximo (%).	INV E-237	0,5	0,5	0,5
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	INV E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%): una cara/dos caras.	INV E-227	60/-	75/-	75/-
Adhesividad (O)				
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, mínimo (%).	INV E-757	Reportar		

Nota 1: se aceptan valores superiores de desgaste siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla; esta nota no resulta aplicable para tránsito NT1.

Nota 2: este ensayo es aplicable únicamente para tránsito NT3. El informe debe cuantificar los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado, debe incluir advertencia sobre la presencia de minerales contaminantes, deletéreos, con posibles reactividades químicas, inestables o susceptibles a cambios volumétricos. Debe indicar el grado de meteorización o de alteración del agregado, y la porosidad. También debe incluir valores de acidez y carga de partícula con un concepto sobre la adherencia con el asfalto y las emulsiones.

El conjunto de agregado grueso y agregado fino se debe ajustar a alguna de las gradaciones indicadas en la Tabla 451 — 2.

Tabla 451 — 2. Franjas granulométricas para la mezcla abierta en caliente

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. Standard)								
	75	63	50	37,5	19,0	9,5	4,75	2,36	0,150
	3 Pulgadas	2 ½ Pulgadas	2 Pulgadas	1 ½ Pulgadas	¾ Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 8	Nro. 100
Pasa tamiz (%)									
MAC-75	100	95 — 100	-	30 — 70	3 — 20	0 — 5	-	-	-
MAC-63	-	100	-	35 — 70	5 — 20	-	-	0 — 5	-
MAC-50	-	-	100	75 — 90	50 — 70	-	8 — 20	-	0 — 5
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	5 %							3 %	

Salvo que los documentos del proyecto indiquen lo contrario, se debe emplear la gradación tipo MAC-50.

451.2.2 Material bituminoso

Debe ser cemento asfáltico del tipo especificado en los documentos del proyecto. Si estos no lo especifican, debe ser cemento asfáltico de penetración 60 – 70, que cumpla los requisitos indicados en el artículo 410.

451.2.3 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, deben cumplir los requisitos del artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce 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, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobada por este.

451.3 Equipo

Al respecto, se debe considerar lo que resulte aplicable de 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 debe tener en cuenta lo que se indica a continuación:

- La extensión de la mezcla se puede efectuar también con motoniveladora, si así lo aprueba el interventor.
- El equipo de compactación debe consistir tan solo de rodillos metálicos lisos, preferiblemente entre ocho y diez toneladas (8 t – 10 t) de peso.

451.4 Ejecución de los trabajos

451.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

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

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

Considerando que no existen métodos idóneos para el diseño de estas mezclas, se debe elegir un porcentaje preliminar de asfalto, con respecto a la masa de la mezcla, el cual se debe ajustar como resultado de las pruebas que se realicen durante la fase de experimentación. Dicho porcentaje suele oscilar entre uno coma cinco y tres por ciento (1,5 % – 3,0 %).

451.4.3 Preparación de la superficie existente

Antes de extender la mezcla, se debe limpiar y acondicionar la superficie que la va a recibir, con el fin de que no presente polvo u otros elementos extraños, ni queden fragmentos sueltos del pavimento sobre el cual se va a colocar la mezcla.

También, se deben efectuar los bacheos y las nivelaciones que, por instrucción del interventor, se requieran para mejorar la estructura y el perfil del pavimento existente.

Si la extensión de la mezcla requiere un riego de liga previo, este se debe realizar conforme lo establece el artículo 421, con una emulsión asfáltica catiónica de los tipos CRR-60 o CRR-65 que cumpla los requisitos indicados en el artículo 411.

Antes de extender la mezcla, se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego de liga. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación de este, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el constructor debe efectuar un riego de liga adicional, en la cuantía que fije el interventor. Si la pérdida de efectividad del riego previo es imputable al constructor, el nuevo riego lo debe realizar sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

En el momento de la extensión de la mezcla, la superficie debe estar seca.

451.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

451.4.5 Aprovisionamiento de los agregados

Rige lo descrito en el numeral 450.4.5 del artículo 450.

451.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica

La carga de las tolvas en frío se debe realizar de forma que estas contengan entre el

cincuenta y el cien por ciento (50 % – 100 %) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se deben regular en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se debe regular de acuerdo con la producción prevista, y se debe mantener constante la alimentación del secador.

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

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

Los agregados preparados, como se ha indicado anteriormente, se deben pesar o medir exactamente y se deben transportar al mezclador, en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Después de haber introducido en el mezclador los agregados, se debe agregar automáticamente

el material bituminoso calculado para cada batchada. Este se debe encontrar a la temperatura adecuada y se debe continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

La temperatura de elaboración de la mezcla se debe definir durante la fase de experimentación y suele variar entre ciento diez y ciento veinte grados Celsius (110 °C – 120 °C). El tiempo de mezcla no debe exceder de treinta segundos (30 s).

En ningún caso se debe introducir en el mezclador el agregado caliente a una temperatura superior, en más de quince grados Celsius (15 °C), a la temperatura del asfalto.

En el momento de la mezcla, la temperatura del asfalto debe ser tal, que se consiga la envuelta satisfactoria de los agregados, sin que se produzcan escurrimientos del ligante. El volumen de materiales en el mezclador no debe ser tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical. Es recomendable que no superen los dos tercios (2/3) de su altura. Todos los tamaños del agregado deben estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas deben quedar cubiertas de ligante, de manera satisfactoria, para aprobación del interventor. La temperatura de la mezcla recién elaborada no debe exceder de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

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

Se deben rechazar todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de contaminación o de humedad. En este último caso, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente de las plantas de tipo discontinuo. También, se deben rechazar aquellas mezclas en las que la envuelta no sea satisfactoria.

451.4.7 Transporte de la mezcla

La mezcla se debe transportar 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. Solo se debe permitir el trabajo en horas de la noche si, a criterio del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y la compactación de manera adecuada.

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

451.4.8 Transferencia de la mezcla

Rige lo descrito en el numeral 450.4.8 del artículo 450.

451.4.9 Extensión de la mezcla

Rige, en general, lo descrito en el numeral 450.4.9 del artículo 450. En este caso no se requieren obreros que agreguen y enrasen la mezcla tras la pavimentadora.

Se debe permitir la extensión de la mezcla con motoniveladora, en las circunstancias en que el interventor considere aconsejable el empleo de este procedimiento.

451.4.10 Compactación de la mezcla

La compactación debe comenzar, una vez extendida la mezcla, empleando rodillos metálicos lisos estáticos que no produzcan fracturación de las partículas del agregado pétreo. El número de pasadas debe ser el establecido durante la fase de experimentación, y debe ser lo suficientemente bajo para prevenir sobrecompactaciones que reduzcan el volumen de aire en la mezcla.

La compactación debe comenzar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas, donde el cilindrado debe avanzar del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma fijada por el interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Los rodillos deben llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el interventor, y sus cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada.

A causa de la aspereza de la mezcla, se deben evitar al máximo las correcciones mediante procedimientos manuales.

451.4.11 Juntas de trabajo

Rige lo descrito en el numeral 450.4.11 del artículo 450.

451.4.12 Bacheos

La mezcla abierta en caliente puede ser utilizada en el relleno de excavaciones, únicamente para la reparación de pavimentos existentes, que contengan capas inferiores asfálticas agrietadas y estas vayan a constituir el fondo de la excavación.

El espesor que se puede rellenar con mezcla abierta en caliente es el indicado en los documentos del proyecto o el establecido por el interventor, de acuerdo con las circunstancias de la obra.

451.4.13 Apertura al tránsito

Debido a su bajo contenido de asfalto y a la posibilidad de desintegración bajo la acción de las cargas del tránsito, no se debe permitir que la mezcla compactada sea sometida a la circulación de vehículos.

El constructor debe tomar las disposiciones necesarias para que se cumpla esta instrucción y debe organizar su plan de trabajo, de manera que la capa superior, de gradación densa, semidensa o gruesa, según lo establezcan los documentos del proyecto, se construya a la mayor brevedad.

451.4.14 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión y la compactación de mezclas abiertas en caliente, cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie del pavimento sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción de la mezcla abierta en caliente se deben efectuar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe 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.

451.4.15 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.

451.4.16 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel deben ser corregidos por el constructor, sin

costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

451.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

451.5.1 Controles

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

451.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

451.5.2.1 Calidad del ligante asfáltico

Los requisitos de calidad, los controles y los criterios de aceptación para el cemento asfáltico deben ser los establecidos en el artículo 410.

451.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos

451.5.2.2.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos indicados en la Tabla 451 – 1.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en dicha tabla, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

451.5.2.2.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. También,

se debe ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y se debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 451 — 3.

Tabla 451 — 3. Ensayos de verificación sobre los agregados para mezcla abierta en caliente

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos	E-224	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	E-237	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo	E-757	Cuando cambie la procedencia de los agregados

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 451 — 3, 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 debe permitir el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos del numeral 451.2.1 del presente artículo. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la

prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

451.5.2.3 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador o del silo de almacenamiento, sobre cada vehículo de transporte, el interventor debe controlar el aspecto de la mezcla y debe medir su temperatura. El interventor debe 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 combustible. En este último caso y cuando la planta sea de tipo discontinuo, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

451.5.2.3.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 451.5.2.4.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener una tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF \% - 0,3 \% \leq ART \% \leq ARF \% + 0,3 \%$$

[451.1]

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor promedio (*ART* %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART \% - 0,5 \% \leq ARI \% \leq ART \% + 0,5 \%$$

[451.2]

Un porcentaje de asfalto residual promedio (*ART* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote. En este caso, la capa de mezcla en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

451.5.2.3.2 Granulometría de los agregados

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

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 451 — 2, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

Si la curva granulométrica queda dentro de la franja, pero los valores incumplen los requisitos recién indicados, el interventor debe rechazar el lote representado por dicha curva. En subsidio, el interventor puede aceptarlo provisionalmente bajo el compromiso escrito del constructor de que, sin costo adicional para INVÍAS, garantiza realizar todas las

reparaciones que se requieran a satisfacción de INVÍAS, si en la capa que se va a colocar sobre la mezcla abierta en caliente se producen, dentro del término del contrato y de la garantía de estabilidad de las obras, reflejos de fallas de capas inferiores, atribuibles a las deficiencias granulométricas de la mezcla abierta en caliente.

451.5.2.4 Calidad del producto terminado

451.5.2.4.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de mezcla colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

451.5.2.4.2 Aspectos generales

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

Además, se deben hacer las siguientes verificaciones.

451.5.2.4.3 Espesor

Las determinaciones de espesor de la capa compactada se deben realizar en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote. Los sitios para las mediciones se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. El espesor promedio de la capa compactada (e_m) no puede ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$$e_m \geq e_d \quad [451.10]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0,98 * e_d \quad [451.11]$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote. En tal caso, la capa de mezcla abierta en caliente correspondiente al lote controlado, se debe levantar mediante fresado y reponer hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

451.5.2.4.4 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar, en ningún punto, irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm) cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el interventor, los cuales no deben estar afectados por cambios de pendiente.

Las zonas que presenten deficiencias de este tipo deben ser reparadas por el constructor, hasta ser aprobadas por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

451.5.2.4.5 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la solidez de la estructura construida, al nivel de la capa de mezcla abierta en caliente, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797, de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a este. Los resultados de las medidas, que se deben realizar en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no constituyen base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que sirven a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye, y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios al diseño estructural del pavimento.

Todas las áreas de mezcla abierta en caliente colocada y compactada, donde los defectos de calidad y de terminación excedan las tolerancias indicadas en esta especificación, deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este.

En todo caso, se recomienda en la medida de lo posible que no se emplee la Viga Benkelman para las mediciones de las deflexiones de la capa, especialmente en niveles de tránsito altos como el NT3.

451.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400, y en particular lo indicado en los numerales 400.6.2 y 400.6.3.

451.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.7.3.

451.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
451.1	Mezcla abierta en caliente tipo MAC-75	Metro cúbico (m ³)
451.2	Mezcla abierta en caliente tipo MAC-63	Metro cúbico (m ³)
451.3	Mezcla abierta en caliente tipo MAC-50	Metro cúbico (m ³)
451.4	Mezcla abierta en caliente tipo MAC-50 para bacheo	Metro cúbico (m ³)

Mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura (microaglomerado en caliente)

Artículo 452 – 22

452.1 Descripción

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

452.2 Materiales

452.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

452.2.1.1 Requisitos generales

Los requisitos que se exigen en esta sección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla

asfáltica. En caso de no cumplirse alguno(s) de ellos, la aceptación o rechazo respectivos deben ser evaluados según las premisas de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales. La aprobación debe ser sustentada mediante un informe técnico detallado, desarrollado por el especialista en pavimentos y/o geotecnia, donde se consigne cuál debe ser el desempeño y la durabilidad, proponiendo las estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento del diseño. El interventor debe aprobar o rechazar los materiales en función de los requisitos establecidos en esta sección y en los establecidos en el informe de desempeño del especialista.

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben satisfacer los requisitos del numeral 400.2.1 del artículo 400. Adicionalmente, deben cumplir los requisitos de calidad mencionados en la Tabla 452 — 1.

Tabla 452 — 1. Requisitos de los agregados para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Característica	Norma de ensayo	NT2 y NT3
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota 1):		
- 500 revoluciones	INV E-218	25
- 100 revoluciones		5
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	INV E-238	20

Característica	Norma de ensayo	NT2 y NT3
Dureza, agregado grueso (O)		
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10% de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	INV E-224	110 75
Coefficiente de pulimiento acelerado, mínimo (CPA).	INV E-232	50
Durabilidad (F)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%).	INV E-220	18
Análisis petrográfico		
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado (Nota 2).	ASTM C295	Reportar para NT3
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%).	INV E-237	0,5
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de Plasticidad, máximo (%).	INV E-125 e INV E-126	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	INV E-133	50
Valor de azul de metileno, máximo.	INV E-235	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	INV E-240	10
Caras fracturadas, mínimo (%): una cara/dos caras.	INV E-227	100/100
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%).	INV E-239	45
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, mínimo (%).	INV E-757	Reportar
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	INV E-774	Reportar

Nota 1: se aceptan valores superiores de desgaste siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla; esta nota no resulta aplicable para tránsito NT1.

Nota 2: este ensayo es aplicable únicamente para tránsito NT3. El informe debe cuantificar los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado, debe incluir advertencia sobre la presencia de minerales contaminantes, deletéreos, con posibles reactividades químicas, inestables o susceptibles a cambios volumétricos. Debe indicar el grado de meteorización o de alteración del agregado, y la porosidad. También debe incluir valores de acidez y carga de partícula con un concepto sobre la adherencia con el asfalto y las emulsiones.

452.2.1.2 Agregado fino

El agregado fino debe proceder, en su totalidad, de la trituración de roca de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no puede exceder los valores de la Tabla 452 — 2.

El material que se triture para obtener el agregado fino debe cumplir los requisitos de resistencia establecidos para el agregado grueso en la Tabla 452 — 1.

Tabla 452 — 2. Proporción máxima de arena natural en el agregado

Característica	NT2	NT3
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado combinado.	≤ 20	≤ 10
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado fino.	≤ 50	

452.2.1.3 Llenante mineral

El llenante mineral puede provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la planta mezcladora, o puede ser de aporte como producto

comercial, generalmente cal hidratada (ver requisitos en la NTC 4019) o cemento hidráulico (ver requisitos en el numeral 501.2.1 del artículo 501). La proporción de llenante mineral y los requisitos para el mismo deben cumplir con lo mencionado en la Tabla 452 — 3.

Tabla 452 — 3. Proporción y requisitos del llenante mineral

Composición	Norma de ensayo INV	NT2 y NT3
Proporción de llenante mineral de aporte: (porcentaje (%) en masa del llenante total).	-	≥ 50
Granulometría del llenante mineral de aporte: - % que pasa tamiz de 1,18 mm (nro. 16) - % que pasa tamiz de 0,600 mm (nro. 30) - % que pasa tamiz de 0,150 mm (nro. 100) - % que pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	E-215	100 97 — 100 95 — 100 70 — 100
Densidad <i>bulk</i> (g/cm ³).	E-225	0,5 — 0,8
Vacíos del llenante seco compactado (%).	E-229	≥ 38

452.2.1.4 Granulometría

La granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral, debe

estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas en la Tabla 452 — 4. El análisis granulométrico se debe efectuar, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-213.

Tabla 452 — 4. Franjas granulométricas para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Tipo de mezcla		Tamiz (mm / U.S. Standard)						
		12,5	9,5	8	4,75	2,00	0,425	0,075
		1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	5/16 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
		Pasa tamiz (%)						
Tipo M	M-13	100	75 – 97	-	15 – 28	11 – 22	8 – 16	5 – 8
	M-10	-	100	75 – 97	15 – 28	11 – 22	8 – 16	5 – 8
Tipo F	F-13	100	75 – 97	-	25 – 40	18 – 32	10 – 20	7 – 10
	F-10	-	100	75 – 97	25 – 40	18 – 32	10 – 20	7 – 10
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)		4 %			3 %			1 %

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el constructor debe 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 y la franja granulométrica por emplear deben ser los indicados en los documentos del proyecto.

452.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar la mezcla discontinua en caliente debe ser cemento

asfáltico modificado con polímeros, que corresponda a los tipos CAM-2, CAM-3 y/o CAM-5 de la Tabla 414 — 1 del artículo 414; también, puede ser cemento asfáltico modificado con grano de caucho reciclado que cumpla los requisitos establecidos en el artículo 413. El tipo por utilizar debe ser definido en los documentos del proyecto.

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

Cuando se requieran, deben cumplir con los requisitos del artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no va a producir 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, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), de acuerdo con las instrucciones del interventor.

452.2.4 Productos y tecnologías para modificar la reología o mitigar el escurrimiento

Se permite el uso de fibras, o cualquier otra tecnología o modificador de las propiedades del concreto asfáltico, siempre y cuando se presenten informes técnicos que determinen su dosificación y se muestre evidencia de un comportamiento favorable en campo. Dichos informes deben ilustrar las mejoras obtenidas en el desempeño, en los procesos productivos, en los procesos constructivos, en la durabilidad o en las prestaciones mecánicas, al ser comparada la mezcla modificada respecto a la mezcla patrón sin incorporación de dichos productos. Además, el uso de dichos productos o tecnologías debe ser respaldado con las respectivas fichas técnicas y hojas de seguridad del fabricante, y contar con la aprobación del interventor.

452.3 Equipo

Al respecto, se aplica lo que resulte pertinente de lo indicado en el artículo 400.

Adicionalmente, se debe considerar que para la compactación se deben utilizar compactadores de rodillos metálicos autopropulsados y sin vibración.

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

452.4 Ejecución de los trabajos

452.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3. del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

452.4.2 Obtención de la fórmula de trabajo

452.4.2.1 Generalidades

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

452.4.2.2 Diseño de la mezcla

Las mezclas discontinuas en caliente se deben diseñar en función del tipo de granulometría del agregado, siguiendo los métodos indicados en la Tabla 452 — 5.

Tabla 452 — 5. Método de diseño para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Tipo de mezcla	Norma de ensayo INV	Método
Tipo M	E-760	Ensayo Cántabro
		Comprobación: - Verificación de adherencia mediante el ensayo Cántabro con inmersión
Tipo F	E-748	Método Marshall
	E-725	Comprobación: - Verificación de adherencia por tracción indirecta
	E-756	- Verificación de resistencia a la deformación plástica

452.4.2.2.1 Diseño de mezclas discontinuas tipo M

452.4.2.2.1.1 Diseño mediante el ensayo Cántabro

Los criterios de dosificación de estas mezclas son los indicados en la Tabla 452 — 6. La temperatura de elaboración de la mezcla debe corresponder, en principio, a una viscosidad del ligante asfáltico comprendida entre ciento cincuenta y ciento noventa centistokes (150 cSt – 190 cSt), debiendo verificarse que no se produzca escurrimiento del ligante a dicha temperatura.

Las mezclas en caliente objeto del presente artículo se orientan principalmente al método Cántabro. Alternativamente, si los documentos del proyecto lo consideran, son válidos diseños por otros métodos de reconocida aceptación internacional, en los cuales se deben seguir los requisitos y controles del respectivo método, así como los requisitos del presente artículo que resulten aplicables. En todos los casos las fórmulas de trabajo no deben tener una antigüedad mayor de un año.

Tabla 452 — 6. Criterios de dosificación para mezclas discontinuas tipo M

Característica	Norma de ensayo INV	Valor
Contenido de ligante: porcentaje (%) en masa sobre el agregado seco, mínimo (Nota).	-	5,0
Compactación: número de golpes por cara.	E-760	50
Pérdida por abrasión en seco, máximo (%).	E-760	15
Vacíos con aire en la mezcla compactada, mínimo (%).	E-736	12
Relación llenante/ligante efectivo, en peso.	-	1,2 – 1,4

Nota: realizar la corrección por densidad de áridos y validar con métodos internacionales y nuevas tecnologías.

452.4.2.2.1.2 Verificación de adherencia

La mezcla que cumpla los requisitos de diseño de la Tabla 452 — 6, debe ser sometida a la prueba de verificación de la adherencia, según el criterio señalado en la Tabla 452 — 7.

Tabla 452 — 7. Verificación de adherencia para mezclas discontinuas tipo M

Característica	Norma de ensayo INV	Valor
Pérdida de abrasión en probetas después de inmersión en agua durante 24 horas a 60 °C, máximo (%). (Nota).	E-760	25

Nota: si la pérdida de abrasión tras inmersión supera el valor especificado, se debe mejorar la adhesividad mediante un aditivo mejorador de adherencia apropiado.

452.4.2.2.2 Diseño de mezclas discontinuas tipo F

452.4.2.2.2.1 Diseño Marshall

Los criterios de dosificación de estas mezclas son los indicados en la Tabla 452 – 8.

Tabla 452 — 8. Criterios de dosificación para mezclas discontinuas tipo F

Característica	Norma de ensayo INV	Valor
Contenido de ligante: porcentaje (%) en masa sobre el agregado seco, mínimo (Nota).	-	5,5
Compactación: número de golpes por cara.	E-748	50
Estabilidad, mínimo (N).	E-748	7 500
Vacíos con aire, mínimo (%).	E-736	4
Relación llenante/ligante efectivo, en peso.	-	1,4 – 1,8

Nota: realizar la corrección por densidad de áridos y validar con métodos internacionales y nuevas tecnologías.

452.4.2.2.2.2 Verificación de adherencia y resistencia a la deformación plástica

El diseño Marshall que cumpla los requisitos de la Tabla 452 — 8, se debe someter a las

pruebas de verificación relacionadas en la Tabla 452 — 9. La verificación se debe adelantar en la secuencia indicada en la tabla.

Tabla 452 — 9. Verificación de adherencia y resistencia a la deformación plástica para mezclas discontinuas tipo F

Propiedad	Norma de ensayo INV	Valor
Adherencia: resistencia retenida a la tracción indirecta, mínimo (%).	E-725	80
Resistencia a la deformación plástica: velocidad máxima de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos (µm/min):	E-756	
- Temperatura media anual del aire > 24 °C		12
- Temperatura media anual del aire ≤ 24 °C		15

Si la mezcla no cumple con el requisito de adherencia, se debe incrementar su adhesividad hasta que cumpla con el mismo, empleando un aditivo mejorador de adherencia y/o un llenante mineral apropiado.

452.4.2.2.3 Composición de la mezcla

La composición de la mezcla discontinua en caliente se debe ajustar a lo establecido en la Tabla 452 — 10.

Tabla 452 — 10. Composición de las mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Composición		Tipo de mezcla			
		M-13	M-10	F-13	F-10
Cantidad de mezcla (kg/m ²)		55 — 70	35 — 50	65 — 80	40 — 55
Ligante residual en el riego de liga, mínimo (kg/m ²)	Pavimento nuevo	0,30		0,25	
	Pavimento antiguo	0,40		0,35	

452.4.2.2.4 Ajuste de la fórmula de trabajo

La mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura no se puede fabricar a escala industrial, mientras el interventor no haya aprobado la fórmula de trabajo y realizado las verificaciones y ajustes correspondientes en la fase de experimentación, en particular respecto de la cantidad media de mezcla por aplicar para obtener el espesor compacto establecido en los documentos del proyecto. Igualmente, si durante la ejecución de las

obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan de manera frecuente las tolerancias granulométricas establecidas en el presente artículo, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

452.4.3 Preparación de la superficie existente

La mezcla no se debe extender hasta que se compruebe que la capa sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y su

superficie presente las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan de las tolerancias establecidas en la especificación respectiva, deben ser corregidas de acuerdo con lo establecido en ella.

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

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

Debido al pequeño espesor en que son puestas en obra las mezclas discontinuas en caliente, ellas resultan propensas a despegues por los esfuerzos tangenciales del tránsito. Por tal razón, la extensión de la mezcla exige la aplicación cuidadosa de un riego previo de liga, el cual se debe realizar conforme lo establece el artículo 421, empleando una emulsión asfáltica modificada con polímeros del tipo CRR-65m, de las características establecidas en el artículo 415 y con la dosificación indicada en el numeral 452.4.2.2.3.

Para garantizar la efectividad del riego de liga, es recomendable que la máquina pavimentadora esté provista de un sistema de riego incorporado a ella. Si no se dispone de dicho equipo, el riego se puede aplicar con un carrotanque, cuidando que no se degrade antes de la extensión de la mezcla. En caso de que el riego pierda efectividad, el constructor debe efectuar un riego adicional, en la cuantía que fije el interventor. Si la pérdida

de efectividad del primer riego es imputable al constructor, el nuevo riego debe realizarlo a su costa.

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer el nivel requerido, se deben ejecutar de acuerdo con las indicaciones del artículo 465 para la excavación y de los artículos que correspondan a los materiales empleados en su relleno.

Si la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que, de acuerdo con los estudios y documentos del proyecto, requiere un fregado previo, este se debe realizar conforme se establece en el artículo 460.

452.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

452.4.5 Aprovechamiento de los agregados

Los agregados se deben suministrar fraccionados y se deben manejar separados hasta su introducción en las tolvas en frío. El número de fracciones debe ser tal que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y se debe poder 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 debe permitir, 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 debe acopiar separada de las demás, para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Los acopios se deben construir por capas de espesor no superior a uno coma cinco metros (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

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

452.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica

La carga de las tolvas en frío se debe realizar de forma que estas contengan más del cincuenta por ciento (50 %) de su capacidad, pero sin rebosar. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

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

Los agregados se deben calentar antes de su mezcla con el asfalto. El secador se debe regular 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 debe detener 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 puede introducir en la mezcla; en caso contrario, se debe eliminar. El tiro de aire en el secador se debe 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 debe hacer de manera independiente de los agregados y entre sí.

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

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se deben pesar exactamente y se deben transportar al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. Después de haber introducido en el mezclador los agregados y el llenante, se debe agregar automáticamente el material bituminoso calculado para cada batchada, el cual se debe encontrar a la temperatura

adecuada, y se debe continuar 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 cSt – 300 cSt), siendo preferible que se encuentre entre ciento cincuenta y ciento noventa centistokes (150 cSt – 190 cSt).

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

El volumen de materiales en el mezclador no debe ser tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical, siendo recomendable que no superen los dos tercios (2/3) de su altura. Todos los tamaños del agregado deben estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas de ligante. La temperatura de la mezcla recién elaborada no debe exceder de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

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

Se deben rechazar todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas,

las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de contaminación o humedad. En este último caso, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente. También, se deben rechazar aquellas mezclas en las que la envuelta no sea perfecta.

452.4.7 Transporte de la mezcla

La mezcla se debe transportar 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. Solo se debe permitir el trabajo en horas de la noche si, por instrucción del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y la compactación de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla se deben 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 deben limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deben mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos y sus cargas por eje y totales se deben encontrar dentro de los límites fijados por la resolución vigente del Ministerio de Transporte.

452.4.8 Transferencia de la mezcla

Si el constructor dispone de una máquina para la transferencia de la mezcla asfáltica (*shuttle buggy*), la volqueta debe descargar

la mezcla en la tolva de almacenamiento de la máquina, cuyas bandas transportadoras se deben encargar de alimentar la pavimentadora, sin que esta sea tocada por las llantas de la volqueta, favoreciendo de esta manera la regularidad superficial.

452.4.9 Extensión de la mezcla

La mezcla recibida de la volqueta o de la máquina de transferencia debe ser extendida por la máquina pavimentadora, de modo que se cumplan los alineamientos, los anchos y los espesores señalados en los documentos del proyecto.

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

La pavimentadora se debe regular, 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 documentos del

proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo, se debe permitir el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se debe permitir la segregación de la mezcla. Si ella ocurre, la extensión de la mezcla debe ser suspendida inmediatamente, hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación, debe ser removida y reemplazada con material apropiado, a expensas del constructor.

La extensión de la mezcla se debe realizar 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 debe comprobar 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 debe descartar y se debe ejecutar una junta transversal.

En los sitios en los que no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla se puede extender a mano. La mezcla se debe descargar fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se debe distribuir 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 documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

452.4.10 Compactación de la mezcla

La compactación se debe realizar según el plan aprobado por el interventor como resultado de 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. El número de pasadas del rodillo liso sin vibración no debe ser menor de seis (6).

La compactación se debe realizar longitudinalmente de manera continua y sistemática. Debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas, en donde el cilindrado debe avanzar 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 debe ampliar la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

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

Se debe tener cuidado al compactar para no desplazar los bordes de la mezcla extendida; aquellos que forman los bordes exteriores del pavimento terminado, deben ser chaflanados ligeramente.

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

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

452.4.11 Juntas de trabajo

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

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

452.4.12 Apertura al tránsito

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

452.4.13 Limitaciones en la ejecución

No se debe permitir la extensión y la compactación de la mezcla en momentos de lluvia, ni

cuando haya fundado temor que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a ocho grados Celsius (8 °C).

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

452.4.14 Manejo ambiental

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

452.4.15 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, deben ser corregidos por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

452.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

452.5.1 Controles

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

452.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

452.5.2.1 Calidad del ligante asfáltico

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el cemento asfáltico modificado con polímeros o adicionado con grano de caucho reciclado (asfalto-caucho) deben ser los establecidos en los artículos 414 y 413, respectivamente.

452.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

452.5.2.2.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 452 — 1.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral y para cualquier volumen previsto, se deben tomar dos (2) muestras y sobre ellas se debe determinar la densidad *bulk*, según la norma INV E-225.

Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 452.2.1, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

452.5.2.2.2 Control de producción

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

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 452 — 11 para los agregados grueso y fino, y en la Tabla 452 — 12 para el llenante mineral de aporte.

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en las Tablas 452 — 11 y 452 — 12, 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 debe permitir el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 452.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

Tabla 452 — 11. Ensayos de verificación sobre los agregados para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Evaluación de la resistencia a mecánica por el método del 10 % de finos	E-224	1 por mes
Coefficiente de pulimiento acelerado	E-232	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	E-237	1 por semana

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Limpieza, gradación combinada (F)		
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	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada

Tabla 452 — 12. Ensayos de verificación sobre el llenante mineral de aporte para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Granulometría	E-215	1 por suministro
Densidad <i>bulk</i>	E-225	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante

452.5.2.3 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 medir su temperatura. El interventor debe 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 combustible. En este último caso y cuando la planta sea de tipo discontinuo, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

452.5.2.3.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 452.5.2.5.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual, según la norma de ensayo INV E-732 para el caso de asfalto modificado con polímeros, o la norma de ensayo INV E-729, para el caso de asfalto modificado con grano de caucho reciclado.

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener una tolerancia de cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF \% - 0,3\% \leq ART \% \leq ARF \% + 0,3 \%$$

[452.1]

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (ARI %), no puede diferir del valor promedio (ART %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART \% - 0,5 \% \leq ARI \% \leq ART \% + 0,5 \%$$

[452.2]

Un porcentaje de asfalto residual promedio (ART %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no van a existir problemas de comportamiento de la mezcla, ni de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.3.2 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 452 — 4, 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. Ella se debe someter a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral 452.4.2 de la presente especificación. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad, se debe rechazar el lote. En este caso, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.4 Calidad de la mezcla

452.5.2.4.1 Calidad de las mezclas tipo M

452.5.2.4.1.1 Vacíos con aire de probetas compactadas

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra), a la temperatura apropiada, para el ensayo Cántabro (norma de ensayo INV E-760) y a ellas se les debe determinar previamente su gravedad específica *bulk* (normas de ensayo INV E-733 o INV E-802).

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

Para cada una de las probetas se deben 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 seis (6) probetas no puede diferir en más de dos puntos porcentuales ($\pm 2\%$) del definido al establecer la fórmula de trabajo y, simultáneamente, debe ser mayor o igual que el límite que se establece en la Tabla 452 — 6, sin que ningún valor individual pueda ser inferior a diez por ciento (10 %).

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras, sin que haya necesidad de determinar su resistencia al desgaste. En este caso, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.4.1.2 Resistencia

Si el requisito sobre vacíos con aire se cumple, con tres (3) de las probetas se debe medir la pérdida por abrasión en seco y con las otras tres (3) se debe determinar la pérdida por abrasión luego de un período de inmersión en agua a sesenta grados Celsius (60 °C) durante veinticuatro horas (24 h).

Los valores promedio de pérdida de ambos grupos deben satisfacer los criterios establecidos en las Tablas 452 — 6 y 452 — 7. Ninguna de las probetas puede presentar una pérdida mayor en veinte por ciento (20 %) de la máxima admisible para cada grupo.

Si uno o ambos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote representado por estas muestras. En este caso, la capa de mezcla

discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.4.2 Calidad de las mezclas tipo F

452.5.2.4.2.1 Vacíos con aire de probetas compactadas

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben compactar probetas (dos (2) por muestra), a la temperatura apropiada, con cincuenta (50) golpes/cara, para verificar en el laboratorio su gravedad específica *bulk* (normas de ensayo INV E-733 o INV E-802) y su resistencia en el ensayo Marshall (norma de ensayo INV E-748).

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 deben 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 debe ser mayor o igual que el límite que se establece en la Tabla 452 — 8, sin que ningún valor individual pueda ser menor de tres coma cinco por ciento (3,5 %).

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

452.5.2.4.2.2 Estabilidad

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

$$E_m \geq E_t \quad [452.3]$$

Además, la estabilidad de cada probeta (E_i) debe ser igual o superior al noventa por ciento (90 %) del valor medio de estabilidad (E_m), admitiéndose solo un (1) valor individual bajo de ese límite, siempre y cuando no se encuentre por debajo del valor mínimo admisible establecido en la Tabla 452 — 8 del presente artículo.

$$E_i \geq 0,90 * E_m \quad [452.4]$$

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 discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada por el constructor mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.4.3 Susceptibilidad a la humedad

Cada vez que el interventor lo considere conveniente, de acuerdo con el aspecto y comportamiento de la mezcla colocada, se debe verificar 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.

Para tal efecto, se deben moldear seis (6) probetas con la mezcla que se está elaborando, tres (3) de las cuales se deben curar en seco y tres (3) bajo condición húmeda, para determinar así la resistencia promedio de cada grupo como lo establece la norma. La resistencia del grupo curado en húmedo debe 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 debe implicar la realización del ensayo sobre núcleos tomados de los diferentes lotes cuya mezcla considere el interventor que puede presentar este problema (seis (6) núcleos por lote, tres (3) curados en seco y tres (3) bajo condición húmeda). Los lotes de material que no cumplan con el requisito deben ser rechazados. Además, los trabajos se deben 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.

452.5.2.5 Calidad del producto terminado

452.5.2.5.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla discontinua asfáltica en caliente:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla discontinua en caliente colocada en todo el ancho de la calzada.

- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de mezcla discontinua en caliente colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

452.5.2.5.2 Aspectos generales

La capa terminada debe 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 puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota de cualquier punto de la mezcla discontinua en caliente, compactada, no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, se deben realizar las siguientes verificaciones.

452.5.2.5.3 Compactación

Las determinaciones de densidad de la capa compactada se deben realizar en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote. Los sitios para las mediciones 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.

452.5.2.5.3.1 Mezclas tipo M

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

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del interventor. En caso de rechazo, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, todo ello a cargo y costa del constructor. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.5.3.2 Mezclas tipo F

Para el control de la compactación de las mezclas discontinuas en caliente del tipo F, se debe calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y de los ensayos de densidad en el laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$(GC_i) = \frac{D_i}{D_e} * 100 \quad [452.5]$$

Donde:

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

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

D_e , valor promedio de los valores de densidad *bulk* de las cuatro (4) o más probetas correspondientes al lote que se está evaluando, elaboradas en el laboratorio para la verificación de vacíos y estabilidad según el numeral 452.5.2.4.1.1.

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

$GC_i(90) \geq 97,0 \%$ se acepta el lote [452.6]

$$e_m \geq e_d \quad [452.8]$$

$GC_i(90) < 97,0 \%$ se rechaza el lote [452.7]

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 calcula 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).

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

Solo se acepta 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 discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.5.4 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).

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0,98 * e_d \quad [452.9]$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del interventor. En caso de rechazo, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material fresado es de propiedad del constructor.

452.5.2.5.5 Segregación térmica

En el caso de vías que presenten niveles de tránsito NT3, el constructor debe entregar al interventor un registro termográfico, tomado con cámara infrarroja o termográfica, de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciado (norma INV E-788). Estos registros deben ser entregados al interventor a más tardar una semana después de la pavimentación del sector fotografiado y antes de la toma de núcleos para verificar la densidad.

Estas fotografías tienen dos usos:

- Durante la construcción, el interventor puede ordenar la toma de núcleos en los sitios donde las imágenes muestren la presencia de sitios de menor temperatura, para verificar el porcentaje de vacíos de la mezcla colocada.

- Al final de la obra, las imágenes se deben incluir en el informe final de interventoría y sirven a INVÍAS 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.

452.5.2.5.6 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar zonas de acumulación de agua, ni irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793; la regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja al azar el interventor, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente. Las zonas que presenten deficiencias de este tipo deben ser fresadas y repuestas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, y hasta ser aprobadas por el interventor. El material fresado es de propiedad del constructor.

Si la capa de apoyo no corresponde al mismo contrato, la verificación de la planicidad solo se aplica si su superficie cumple los criterios de planicidad mencionados en el párrafo anterior.

452.5.2.5.7 Textura

Las medidas de textura se deben realizar a los pocos días de terminada la capa,

empleando el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos por controlar por lote es de tres (3), que se deben ampliar a cinco (5) si la textura obtenida en uno (1) de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se eligen al azar, de acuerdo con la norma INV E-730.

La profundidad media de textura del lote no puede ser menor al mínimo admisible que corresponda en la Tabla 452 — 13, sin que ningún valor individual sea inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido y sin que existan áreas con evidencias indudables de segregación.

Si este requisito no se cumple, la capa de mezcla discontinua en caliente correspondiente al lote controlado, debe ser levantada mediante fresado y repuesta hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS, el material fresado queda como propiedad del constructor. Alternativamente y a opción del constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, este puede colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo, sin costo adicional para INVÍAS, del mismo espesor compacto que la anterior, cumpliendo todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas debe ejecutarlo con una emulsión modificada con polímeros, en acuerdo al artículo 421, también sin costo adicional para INVÍAS.

Tabla 452 — 13. Profundidad de textura y resistencia al deslizamiento mínimas admisibles para mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura

Característica	Norma de ensayo INV	Tipo de mezcla	
		M	F
Profundidad media de textura, mínimo (mm).	E-791	1,5	1,1
Coeficiente de resistencia al deslizamiento, Mínimo (CRD): - NT3: glorietas; curvas con radios menores de 200 metros; pendientes ≥ 5 % en longitudes de 100 metros o más; intersecciones; zonas de frenado frecuente - NT3: otras secciones y NT2	E-792	60	60
		55	60

452.5.2.5.8 Resistencia al deslizamiento

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

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

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote, y ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 452 — 13, de acuerdo con el tipo de mezcla. En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe realizar medidas adicionales para delimitar perfectamente el

área deficiente, la cual debe ser corregida por el constructor, a su costa, bajo los mismos criterios exigidos en el inciso precedente para remediar los incumplimientos en cuanto a textura.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma INV E-815). En tal caso, la especificación particular debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 452 — 13 para el péndulo británico.

452.5.2.5.9 Regularidad superficial

Debido a su escaso espesor, las mezclas discontinuas en caliente no pueden corregir defectos asociados con la falta de regularidad del perfil longitudinal de la calzada. Por tal razón, no se debe permitir la colocación de la mezcla en obra, hasta tanto no se garantice que la superficie de la capa sobre la cual se va a construir cumpla los requisitos que se exigen sobre el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en el artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

Todas las áreas de mezcla discontinua en caliente colocada y compactada, donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este.

452.5.2.5.10 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la homogeneidad de la estructura construida al nivel de la capa de mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797, de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a este. Los resultados de las medidas, que se deben realizar en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no deben constituir base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que pueden servir a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios para el diseño estructural del pavimento.

En todo caso, se recomienda en la medida de lo posible que no se emplee la Viga Benkelman para las mediciones de las deflexiones de la capa, especialmente en niveles de tránsito altos como el NT3.

452.6 Medida

Rige lo pertinente del numeral 400.6 del artículo 400 y, en particular, lo indicado en el numeral 400.6.2.

452.7 Forma de pago

Rige lo pertinente del numeral 400.7 del artículo 400, y en particular lo indicado en el numeral 400.7.3.

Se excluye del precio unitario de mezcla discontinua en caliente, el suministro del cemento asfáltico modificado con polímeros o del cemento asfáltico adicionado con grano de caucho reciclado (asfalto-caucho) para la mezcla, que se debe pagar de acuerdo con los artículos 414 y 413, respectivamente.

452.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
452.1	Mezcla discontinua en caliente tipo M-13	Metro cúbico (m ³)
452.2	Mezcla discontinua en caliente tipo M-10	Metro cúbico (m ³)
452.3	Mezcla discontinua en caliente tipo F-13	Metro cúbico (m ³)
452.4	Mezcla discontinua en caliente tipo F-10	Metro cúbico (m ³)

Mezcla drenante

Artículo 453 – 22

453.1 Descripción

Este trabajo consiste en la elaboración, el transporte, la colocación y la compactación de una capa de mezcla asfáltica de tipo drenante, preparada y colocada en caliente, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

453.2 Materiales

453.2.1 Agregados pétreos y llenante mineral

453.2.1.1 Requisitos generales

Los requisitos que se exigen en esta sección son de tipo prescriptivo, para evaluar la calidad de los materiales que componen la mezcla asfáltica. En caso de no cumplirse alguno(s)

de ellos, la aceptación o rechazo respectivos deben ser evaluados según las premisas de desempeño indicadas en el diseño, y según sean las condiciones de las fuentes locales. La aprobación debe ser sustentada mediante un informe técnico detallado, desarrollado por el especialista en pavimentos y/o geotecnia, donde se consigne cuál debe ser el desempeño y la durabilidad, proponiendo las estrategias necesarias para garantizar el cumplimiento del diseño. El interventor debe aprobar o rechazar los materiales en función de los requisitos establecidos en esta sección y en los establecidos en el informe de desempeño del especialista.

Los agregados pétreos y el llenante mineral deben satisfacer los requisitos del numeral 400.2.1 del artículo 400. Adicionalmente, deben cumplir con los requisitos de calidad de la Tabla 453 — 1.

Tabla 453 — 1. Requisitos de los agregados para mezcla drenante

Característica	Norma de ensayo	NT2 y NT3
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota 1): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	INV E-218	25 5
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	INV E-238	20

Característica	Norma de ensayo	NT2 y NT3
Dureza, agregado grueso (O)		
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	INV E-224	110 75
Coefficiente de pulimiento acelerado, mínimo.	INV E-232	50
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de sodio, máximo (%).	INV E-220	18
Análisis petrográfico		
Cuantifica los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado (Nota 2).	ASTM C295	Reportar para NT3
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%).	INV E-237	0.5
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de Plasticidad, máximo (%).	INV E-125 e INV E-126	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	INV E-133	50
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 2).	INV E-235	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (O)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	INV E-240	10
Caras fracturadas, mínimo (%): dos caras.	INV E-227	100
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo, mínimo (%).	INV E-757	Reportar
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo.	INV E-774	Reportar

Nota 1: se aceptan valores superiores siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla.

Nota 2: este ensayo es aplicable únicamente para tránsito NT3. El informe debe cuantificar los porcentajes relativos de los diferentes minerales y las tipologías de rocas que componen el agregado, debe incluir advertencia sobre la presencia de minerales contaminantes, deletéreos, con posibles reactividades químicas, inestables o susceptibles a cambios volumétricos. Debe indicar el grado de meteorización o de alteración del agregado, y la porosidad. También debe incluir valores de acidez y carga de partícula con un concepto sobre la adherencia con el asfalto y las emulsiones.

453.2.1.2 Agregado fino

El agregado fino debe proceder en su totalidad de la trituración de roca de cantera o de

grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no puede exceder los valores indicados en la Tabla 453 — 2.

El material que se triture para obtener el agregado fino debe cumplir con los requisitos de dureza y durabilidad establecidos para el agregado grueso en la Tabla 453 — 1.

Tabla 453 — 2. Proporción máxima de arena natural en el agregado

Característica	NT2	NT3
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado combinado.	≤ 10	0
Proporción de arena natural: porcentaje (%) de la masa total del agregado fino.	≤ 50	0

453.2.1.3 Llenante mineral

El llenante mineral puede provenir de los procesos de trituración y clasificación de los agregados pétreos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la planta mezcladora, o puede ser de aporte como producto

comercial, generalmente cal hidratada (ver requisitos en la NTC 4019) o cemento hidráulico (ver requisitos en el numeral 501.2.1 del artículo 501). La proporción de llenante mineral y los requisitos para el mismo deben cumplir con lo mencionado en la Tabla 453 — 3.

Tabla 453 — 3. Proporción y requisitos del llenante mineral

Característica	Norma de ensayo INV	NT2	NT3
Proporción de llenante mineral de aporte: (porcentaje (%) en masa del llenante total).	-	100	
Granulometría del llenante mineral de aporte:			
- % que pasa tamiz de 1,18 mm (nro. 16)		100	
- % que pasa tamiz de 0,600 mm (nro. 30)	E -215	97 — 100	
- % que pasa tamiz de 0,150 mm (nro. 100)		95 — 100	
- % que pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200)		70 — 100	
Densidad <i>bulk</i> (g/cm ³).	E-225	0,5 — 0,8	
Vacíos del llenante seco compactado (%).	E-229	≥ 38	

453.2.1.4 Granulometría

El conjunto de agregado grueso, agregado fino y llenante mineral se debe ajustar a la gradación indicada en la Tabla 453 — 4.

Tabla 453 — 4. Franja granulométrica para mezcla drenante

Tipo de mezcla	Tamiz (mm / U.S. Standard)						
	19,0	12,5	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	3/4 Pulgada	1/2 Pulgada	3/8 Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)						
Única	100	70 – 100	50 – 75	15 – 32	9 – 20	5 – 12	3 – 7
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4 %			3 %			1 %

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

453.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para elaborar la mezcla drenante debe ser cemento asfáltico modificado con polímeros, que corresponda a los tipos CAM-4, CAM-3 y/o CAM-2 del artículo 414. El tipo por utilizar debe ser el indicado en los documentos del proyecto.

453.2.3 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, deben cumplir los requisitos del artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no va a producir 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, debe ser de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobada por este.

453.2.4 Productos y tecnologías para modificar la reología o mitigar el escurrimiento

Se permite el uso de fibras, o cualquier otra tecnología o modificador de las propiedades del concreto asfáltico siempre y cuando se presenten informes técnicos que determinen su dosificación y se muestre evidencia de un comportamiento favorable en campo. Dichos informes deben ilustrar las mejoras obtenidas en el desempeño o en los procesos productivos, o en los procesos constructivos, o en la durabilidad o en las prestaciones mecánicas, al ser comparadas la mezcla modificada respecto a la mezcla patrón sin incorporación de dichos productos. El uso de dichos productos o tecnologías debe ser además respaldado con las respectivas fichas técnicas y hojas

de seguridad del fabricante, y, además contar con la aprobación del interventor.

453.3 Equipo

Al respecto, se aplica lo que resulte pertinente del numeral 400.3 del artículo 400. 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.

Para la compactación se deben utilizar compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios. El equipo de compactación debe ser aprobado por el interventor, a la vista de los resultados obtenidos en la fase de experimentación.

453.4 Ejecución de los trabajos

453.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

453.4.2 Obtención de la fórmula de trabajo

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

Las mezclas drenantes se deben diseñar a partir de probetas cilíndricas tipo Marshall, confeccionadas como se describe en la norma de ensayo INV E-760. Las temperaturas de mezcla y compactación dependen de las características del ligante bituminoso que se emplee y se deben definir en cada caso particular durante la etapa de diseño. La temperatura de elaboración de la mezcla debe ser tal, que se obtenga una adecuada envuelta

del agregado, sin que se produzcan escurrimientos del ligante.

El contenido óptimo de material bituminoso en la mezcla se debe elegir de manera que se cumplan los siguientes criterios:

- Los vacíos con aire de la mezcla compactada, medidos como se indica en la norma de ensayo INV E-736, no deben ser inferiores a veinte por ciento (20 %), ni mayores de veinticinco por ciento (25 %).
- Para asegurar que los vacíos con aire están debidamente interconectados, se debe realizar una prueba de permeabilidad. La capacidad de drenaje se mide colocando cien mililitros (100 mL) de agua en un molde que contenga la probeta prehumedecida. El tiempo que tarda el agua en atravesar la muestra no debe exceder de quince segundos (15 s).
- Las pérdidas por desgaste a veinticinco grados Celsius (25 °C), determinadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-760, no deben ser superiores a veinticinco por ciento (25 %).
- La dosificación del material bituminoso no puede ser inferior a cuatro coma cinco por ciento (4,5 %), respecto de la masa seca de los agregados, incluido el llenante mineral.
- Se debe comprobar, además, la adhesividad entre el agregado y el ligante, caracterizando la mezcla en presencia de agua. Al efecto, la pérdida por abrasión en el ensayo Cántabro, según la norma de ensayo INV E-760, tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión en agua durante veinticuatro horas (24 h) a sesenta grados Celsius (60 °C), no puede exceder de cuarenta por ciento (40 %). Si se supera este valor, se debe mejorar la adhesividad

mediante un aditivo mejorador de adherencia apropiado.

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 varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla o se rebasan, de manera frecuente, las tolerancias granulométricas establecidas en el presente artículo, se requiere el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

453.4.3 Preparación de la superficie existente

No se debe permitir la colocación de la mezcla drenante mientras el interventor no compruebe que la capa sobre la cual se va a colocar es estructuralmente sana y que su superficie es impermeable y presenta una sección transversal apropiada.

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

No se debe permitir la colocación de mezclas drenantes directamente sobre superficies fresadas.

La extensión de la mezcla drenante requiere la aplicación de un riego previo de liga, empleando una emulsión asfáltica modificada con polímeros, el cual se debe realizar conforme lo establece el artículo 421.

Antes de aplicar la mezcla, se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego

de liga previo y no deben quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el constructor debe efectuar un riego de liga adicional, en la cuantía que fije el interventor. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor, el nuevo riego debe realizarlo sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer la rasante de apoyo, se deben ejecutar de acuerdo con las indicaciones del artículo 465 para la excavación y de los artículos que correspondan a los materiales empleados en su relleno.

453.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400. Las temperaturas de extensión y de compactación tienen especial importancia en el comportamiento de estas mezclas, razón por la cual se debe tener especial cuidado en su definición durante la fase de experimentación.

Así mismo, se debe analizar la correspondencia entre el contenido de vacíos con aire de la mezcla compactada y la permeabilidad de la capa, medida según la norma de ensayo INV E-796.

453.4.5 Aprovechamiento de los agregados

Los agregados se deben suministrar fraccionados y se deben manejar separados

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

Cada fracción del agregado se debe acopiar separada de las demás, para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores de los mismos. Los acopios se deben construir por capas de espesor no superior a uno coma cinco metros (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

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

453.4.6 Fabricación de la mezcla asfáltica

La carga de las tolvas en frío se debe realizar de forma que estas contengan entre el cincuenta y el cien por ciento (50 % – 100 %) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga

se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se deben regular en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se debe regular, de acuerdo con la producción prevista y se debe mantener constante la alimentación del secador.

Los agregados se deben calentar antes de su mezcla con el asfalto. El secador se debe regular de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. Siempre que se presenten síntomas de avería en el sistema de combustión, si la combustión es incompleta o si se advierte alguna contaminación por combustible en los agregados pétreos o en la mezcla, se debe detener 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 puede introducir en la mezcla; en caso contrario, se debe eliminar. El tiro de aire en el secador se debe 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 debe hacer de manera independiente de los agregados y entre sí.

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

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se deben pesar o medir exactamente y se deben transportar al mezclador, en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

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

En ningún caso se debe introducir en el mezclador el agregado caliente a una temperatura superior, en más de quince grados Celsius (15 °C), a la temperatura del asfalto.

En el momento de la mezcla, la temperatura del asfalto debe ser tal, que se consiga la envuelta perfecta de los agregados, sin que se produzcan escurrimientos del ligante. El volumen de materiales en el mezclador no debe ser tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando estas se encuentren en posición vertical es recomendable que no superen los dos tercios (2/3) de su altura. Todos los tamaños del agregado deben estar distribuidos uniformemente en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas de ligante. La temperatura de la mezcla recién elaborada no debe exceder de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

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

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

453.4.7 Transporte de la mezcla

La mezcla se debe transportar 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. Solo se debe permitir el trabajo en horas de la noche si, por instrucción del interventor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y la compactación de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla se deben 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 deben limpiar perfectamente las llantas de los vehículos destinados al transporte de la mezcla. Los vehículos de transporte de mezcla deben mantener al día los permisos de tránsito y ambientales requeridos y sus cargas por eje y totales se deben encontrar dentro de los límites fijados por la resolución vigente del Ministerio de Transporte.

453.4.8 Transferencia de la mezcla

Si el constructor dispone de una máquina para la transferencia de la mezcla asfáltica (*shuttle buggy*), la volqueta debe descargar la mezcla en la tolva de almacenamiento de la máquina, cuyas bandas transportadoras se deben encargar de alimentar la pavimentadora, sin que esta sea tocada por las llantas de la volqueta, para favorecer de esta manera la regularidad superficial.

453.4.9 Extensión de la mezcla

La mezcla recibida de la volqueta o de la máquina de transferencia debe ser extendida con máquinas pavimentadoras, de modo que se cumplan los alineamientos, los anchos y los espesores señalados en los documentos del proyecto.

A menos que el interventor expida una instrucción en contrario, la extensión se debe realizar en franjas longitudinales y debe comenzar a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas. Siempre que resulte posible, se deben evitar las juntas longitudinales realizando la extensión en ancho completo, y trabajar, si es necesario, con dos (2) o más pavimentadoras ligeramente desfasadas. Si por razones prácticas de la obra ello no resulta posible, se debe trabajar de manera que las juntas longitudinales coincidan con una limesa del pavimento.

La pavimentadora se debe regular 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 sección transversal indicadas en los documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se debe permitir el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se debe permitir la segregación de la mezcla. Si ella ocurre, su extensión se debe suspender inmediatamente, hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada o con irregularidades que no sea corregida antes de la compactación, debe ser removida y reemplazada con material apropiado, a expensas del constructor.

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

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

En los sitios en los que no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla se puede extender a mano. La mezcla se debe descargar fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y se debe distribuir 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 documentos del proyecto, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

453.4.10 Compactación de la mezcla

La compactación se debe realizar según el plan aprobado por el interventor, como resultado de 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 desplazamientos indebidos.

La compactación se debe realizar longitudinalmente, de manera continua y sistemática. Debe empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado avanza 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 debe ampliar la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros (15 cm) de la anterior.

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

Las mezclas drenantes requieren un menor esfuerzo de compactación que las mezclas densas. El número de pasadas debe ser el establecido durante la fase de experimentación y debe ser lo suficientemente bajo para prevenir excesos de compactación que reduzcan el volumen de aire en la mezcla.

Igualmente, las temperaturas requeridas para la compactación también son menores, pero se debe tener cuidado de terminar el proceso con prontitud debido a que, por el limitado espesor de la capa y su elevado contenido de vacíos, la mezcla pierde temperatura rápidamente.

La compactación se debe realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se debe complementar con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Sin embargo, las correcciones mediante procedimientos manuales se deben evitar al máximo, a causa de la aspereza de la mezcla.

La temperatura de la mezcla se debe verificar al comienzo y al final del proceso de compactación.

453.4.11 Juntas de trabajo

Las juntas de trabajo de las mezclas drenantes deben permitir siempre el libre flujo de agua, a través de la capa compactada. Si la construcción de juntas longitudinales es inevitable, al extender franjas contiguas no suele ser necesario el corte de la junta si ella no se produce en una limatesa del pavimento. Por ningún motivo se debe permitir la aplicación de un riego de liga sobre la superficie de contacto entre las dos (2) franjas.

Las juntas transversales en la capa de rodadura drenante se deben construir en forma diagonal, con el punto más avanzado en la parte más alta de la franja que se compacta, de tal forma que, si la junta forma una barrera, la pendiente permita la salida del agua hacia el exterior. La compactación de estas juntas se debe realizar en sentido transversal, dis-

poniendo los apoyos adecuados para los elementos de compactación.

453.4.12 Apertura al tránsito

Alcanzado el nivel de compactación exigido, el tramo pavimentado se puede abrir al tránsito, tan pronto la capa alcance la temperatura ambiente en todo su espesor.

453.4.13 Limitaciones en la ejecución

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

Los trabajos de construcción de la mezcla drenante se deben efectuar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, y que opere únicamente en las horas de luz solar.

453.4.14 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.

453.4.15 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, deben ser corregidos por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

453.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

453.5.1 Controles

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

453.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

453.5.2.1 Calidad del ligante asfáltico

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el cemento asfáltico modificado con polímeros deben ser los establecidos en el artículo 414.

453.5.2.2 Calidad de los agregados pétreos y del llenante mineral

453.5.2.2.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deben realizar los

ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 453 — 1.

Así mismo, para cada procedencia del llenante mineral y para cualquier volumen previsto, se deben tomar dos (2) muestras y sobre ellas se debe determinar la densidad aparente, según la norma INV E-225. Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en el numeral 453.2.1, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

453.5.2.2.2 Control de producción

Durante la etapa de producción, se deben examinar las descargas a los acopios y se

debe ordenar el retiro de los agregados que, a simple vista, contengan tierra vegetal, presenten restos de materia orgánica, o tamaños superiores al máximo especificado. También, se debe ordenar acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y se debe vigilar la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, se deben efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 453 — 5 para los agregados grueso y fino, y en la Tabla 453 — 6 para el llenante mineral de aporte.

Tabla 453 — 5. Ensayos de verificación sobre los agregados para las mezclas drenantes

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10% de finos	E-224	1 por mes
Coefficiente de pulimiento acelerado	E-232	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso	E-237	1 por semana
Limpieza, gradación combinada (F)		
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	1 por semana

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada
Adhesividad, gradación combinada (O)		
Resistencia conservada en tracción indirecta	E-725	80

Tabla 453 — 6. Ensayos de verificación sobre el llenante mineral de aporte para las mezclas drenantes

Característica	Norma de ensayo inv	Frecuencia
Granulometría	E-215	1 por suministro
Densidad <i>bulk</i>	E-225	1 vez a la semana y siempre que cambie la procedencia del llenante

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en las Tablas 453 — 5 y 453 — 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 debe permitir el empleo de agregados minerales que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 453.2.1. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

453.5.2.3 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. El interventor debe 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 combustible. En este último caso y cuando la planta sea de tipo discontinuo, se deben retirar los agregados de las correspondientes tolvas en caliente.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

453.5.2.3.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un (1) lote, definido como se indica en el numeral 453.5.2.5.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) debe tener una tolerancia de

cero coma tres por ciento (0,3 %), respecto del óptimo definido en la fórmula de trabajo (*ARF* %).

$$ARF \% - 0,3 \% \leq ART \% \leq ARF \% + 0,3 \%$$

[453.1]

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor promedio (*ART* %) en más de cero coma cinco por ciento (0,5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$ART \% - 0,5 \% \leq ARI \% \leq ART \% + 0,5 \%$$

[453.2]

Un porcentaje de asfalto residual promedio (*ART* %) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no van a existir problemas de comportamiento de la mezcla, ni de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo, la capa de mezcla drenante correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresaado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.3.2 Granulometría de los agregados

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

La curva granulométrica de cada ensayo individual debe ser sensiblemente paralela a los

límites de la franja adoptada, se debe ajustar a la fórmula de trabajo con las tolerancias que se indican en la Tabla 453 — 4, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

En el 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. Ella se debe someter a las pruebas de valoración descritas en el numeral 453.4.2. Si todos los requisitos allí indicados se cumplen, se debe aceptar el lote. En caso contrario, se debe rechazar.

En caso de rechazo, la capa de mezcla drenante correspondiente al lote controlado se debe retirar preferiblemente mediante fresaado, y ser repuesta por otra de calidad satisfactoria hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS. El material retirado por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.4 Calidad de la mezcla

453.5.2.4.1 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra), para el ensayo Cántabro (norma de ensayo INV E-760) y a ellas se les debe determinar su gravedad específica *bulk* (norma de ensayo INV E-802) para el cálculo de vacíos con aire.

Con tres (3) de las probetas se debe medir la pérdida por abrasión en seco y con las otras tres (3) se debe determinar la pérdida por abrasión luego de un período de inmersión en

agua a sesenta grados Celsius (60 °C) durante veinticuatro horas (24 h).

Los valores promedio de pérdida de ambos grupos deben satisfacer los criterios descritos en el numeral 453.4.2. Ninguna de las probetas puede presentar una pérdida mayor en veinte por ciento (20 %) de la máxima admisible para cada grupo.

El incumplimiento de alguna de estas exigencias acarrea el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa de mezcla drenante 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 por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.4.2 Vacíos con aire

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

Para cada una de las probetas moldeadas según el numeral anterior, se deben 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 seis (6) probetas no puede diferir en más de dos puntos porcentuales (± 2 %) del definido al establecer la fórmula de trabajo y, simultáneamente, se debe encontrar en el rango que se establece en el numeral 453.4.2, sin que ningún valor individual se pueda salir de este en más de tres puntos porcentuales (± 3 %).

El incumplimiento de alguna de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa de mezcla drenante 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 por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.5 Calidad del producto terminado

453.5.2.5.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla drenante colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de mezcla drenante colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

453.5.2.5.2 Aspectos generales

La capa terminada debe 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 puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota de cualquier punto de la mezcla drenante compactada, no debe variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Además, se deben hacer las siguientes verificaciones.

453.5.2.5.3 Compactación

Las verificaciones de la compactación de la capa se deben realizar en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote. Los sitios para las mediciones se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. El porcentaje promedio de vacíos con aire en la mezcla no puede variar en más de tres puntos porcentuales ($\pm 3 \%$) del obtenido en la fórmula de trabajo y, simultáneamente, se debe encontrar en el rango que se establece en el numeral 453.4.2. Además, no más de tres (3) individuos del lote ensayado pueden presentar valores que difieran en más de cuatro puntos porcentuales ($\pm 4 \%$) del obtenido al establecer la fórmula de trabajo.

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del interventor. En caso de rechazo, la capa de mezcla drenante 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 por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.5.4 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).

$$e_m \geq e_d \quad [453.3]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e) debe ser, como mínimo,

igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0,98 * e_d \quad [453.4]$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del lote por parte del interventor. En este caso, la capa de mezcla drenante 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 por rechazo es de propiedad del constructor.

453.5.2.5.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793; la regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja al azar el interventor, los cuales no pueden estar afectados por cambios de pendiente. Las zonas que presenten deficiencias de este tipo deben ser fresadas y repuestas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, y hasta ser aprobada por el interventor. El material fresado es de propiedad del constructor.

453.5.2.5.6 Textura

Las medidas de textura se deben realizar a los pocos días de terminada la capa, empleando el método descrito en la norma de ensayo INV E-791.

El número mínimo de puntos que se deben controlar por lote es de tres (3), que se deben

ampliar a cinco (5), si la textura obtenida en uno (1) de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se deben elegir al azar, de acuerdo con la norma INV E-730. Después de diez (10) lotes consecutivos aceptados, el interventor puede reducir la frecuencia de los ensayos.

La profundidad promedio de textura del lote no puede ser menor de uno coma cinco milímetros (1,5 mm), sin que ningún valor individual sea inferior en más de veinte por ciento (20 %) al promedio mínimo exigido.

El incumplimiento de al menos uno de estos requisitos implica el rechazo del lote representado por los ensayos. En tal caso, se debe remover la capa drenante correspondiente al lote y colocar una nueva capa drenante del mismo espesor, por cuenta del constructor, hasta ser aprobada por el interventor y sin costo alguno para INVÍAS. El material removido es de propiedad del constructor.

453.5.2.5.7 Resistencia al deslizamiento

Una vez transcurrido, como mínimo treinta días (30 d) de la puesta en servicio de la capa de mezcla drenante, se deben hacer las determinaciones de la resistencia al deslizamiento.

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

Las medidas se deben realizar con el péndulo británico, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-792, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote, y ninguna de ellas puede presentar un valor inferior al límite indicado en la Tabla 453 — 7.

Tabla 453 — 7. Valores mínimos admisibles del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo británico

Zona de la carretera	Coficiente de resistencia al deslizamiento, mínimo
Zonas de tangente	55
Otras zonas	60

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma INV E-815). En tal caso, en la especificación particular se debe indicar el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deben ser, cuando menos, equivalentes a los señalados en la Tabla 453 — 7 para el péndulo británico.

En caso de que se presenten valores menores, el interventor debe adelantar medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual debe ser corregida por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, bajo el mismo criterio exigido en el inciso precedente para remediar los incumplimientos en cuanto a textura.

453.5.2.5.8 Regularidad superficial (rugosidad)

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se debe comprobar de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril, antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado, el presente artículo establece que la determinación del IRI se debe realizar, únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial.

Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar de acuerdo con la norma ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores del IRI se deben presentar en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituye un lote.

No debe haber exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, reductores de velocidad, etc., los cuales deben ser definidos por el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación del IRI.

Se entiende que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 453 — 8.

Si los resultados de IRI exceden los límites especificados en la Tabla 453 — 8, toda la longitud del lote debe ser fresada y repuesta en el mismo espesor. El fresado, el traslado y la disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa, con la calidad exigida por el presente artículo, deben ser a expensas del constructor. El material demolido es de propiedad del constructor. Este, a su vez, no puede invocar las reconstrucciones motivadas por deficiencias en la regularidad superficial, como causas justificativas del incumplimiento en el programa de trabajo.

Tabla 453 — 8. Valores máximos admisibles de IRI (m/km), para tránsitos NT2 y NT3

Porcentaje (%) de hectómetros	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor \geq 100 mm	Pavimentos rehabilitados en espesor $<$ 100 mm
40	1,4	1,9
80	2,0	2,5
100	2,5	3,0

453.5.2.5.9 Segregación térmica

En el caso de vías que presenten niveles de tránsito NT3, el constructor debe entregar al interventor un registro termográfico, tomado con cámara infrarroja o termográfica, de las temperaturas de extensión y compactación de toda la mezcla colocada, debidamente referenciado (norma INV E-788).

Estas fotografías, que deben ser incluidas en el informe final de interventoría, sirven a INVÍAS como antecedente técnico si se presentan deterioros de la capa de mezcla drenante durante el período de garantía, como consecuencia de la segregación térmica durante la construcción.

Todas las áreas de mezcla drenante colocada y compactada, donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, deben ser corregidas por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este.

453.6 Medida

Rige lo descrito en el numeral 400.6 del artículo 400 y, en particular, lo indicado en el numeral 400.6.2.

453.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el numeral 400.7 del 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 polímeros para la mezcla, el cual se debe pagar de acuerdo con el artículo 414.

453.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
453.1	Mezcla drenante	Metro cúbico (m ³)

Fresado de pavimento asfáltico

Artículo 460 – 22

460.1 Descripción

Este trabajo consiste en el fresado en frío parcial o total de las capas asfálticas de un pavimento, de acuerdo con los alineamientos, las cotas y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

El proceso del microfresado es una técnica basada en un tambor especial con puntas de acero de alta dureza para poder fresar pocos milímetros de espesor (< 2,5 cm).

460.2 Identificación de materiales por fresar

La identificación del material de fresado se debe consignar en los documentos del proyecto. En caso de que se detecte material peligroso (por ejemplo, asbesto, hidrocarburo aromático policíclico, etc.) se debe recurrir a la normativa ambiental vigente.

460.3 Equipo

El equipo para la ejecución de los trabajos debe ser una máquina fresadora cuyo estado, potencia y capacidad productiva garanticen el correcto cumplimiento del plan de trabajo establecido en los documentos del proyecto. Si durante el transcurso de los trabajos el interventor observa deficiencias o mal funcionamiento de la máquina, debe ordenar su inmediata reparación o reemplazo.

El equipo recomendado debe tener como mínimo:

- Una fresadora de uno a dos metros (1 m – 2 m) de ancho de trabajo, capaz de disgregar hasta treinta centímetros (30 cm) de espesor en una pasada.
- De ser necesaria, una grúa que permita el transporte de la fresadora.
- Una barredora de succión equipada con una escoba lateral cuya potencia de succión asegure un flujo mínimo de trescientos metros cúbicos por minuto (300 m³/min).
- Volquetas para el transporte de agregados asfálticos.

Nota: en caso de presencia de materiales peligrosos el constructor debe garantizar que la fresadora cuenta con el equipo tecnológico para el fresado adecuado.

460.4 Ejecución de los trabajos

Los fresados se realizan con el fin de mejorar la condición superficial de la capa de rodadura, reemplazarla o reparar la estructura. Estos se deben ejecutar a pasos entre cero coma cuatro a cero coma cinco metros (0,4 m – 0,5 m) de longitud. En caso de emplear varias fresadoras que trabajen en paralelo, se debe respetar la organización de los trabajos en función del ancho de vía y el plan de trabajo establecido en los documentos del proyecto. El fresado se debe efectuar sobre el área y el espesor que apruebe el interventor.

Los espesores de intervención se deben defi-

nir en función del tipo de intervención por realizar en la vía, al nivel superficial o al nivel de capas de cuerpo de la estructura. Para las actividades de reparación de daños al nivel

superficial, se recomiendan los criterios establecidos en la Tabla 460 – 1.

Tabla 460 – 1. Espesor mínimo de intervención según el

nivel de daño superficial

Tipo de daño	Profundidad del daño (cm)	Espesor mínimo por fresar (cm)
Textura de la superficie deficiente	Nota (3)	< 2,5 (Nota 1)
Fisuras superficiales	Nota (3)	2,5
Ahuellamiento en capa de rodadura	< 2	2,5
	> 2	5
Ahuellamiento de capa de rodadura inducido a la base asfáltica (estructura bituminosa espesa)	Nota (3)	10

Nota 1: técnica de microfresado.

Nota 2: los espesores mínimos por fresar no deben superar en ningún caso el espesor total de la capa a fresar, excepto cuando la presencia de fisuras esté en toda la capa, en cuyo caso se debe fresar la capa entera.

Nota 3: depende del espesor de la o las capas.

Los espesores que se van a fresar para las actividades al nivel de capas de cuerpo como: parcheo, bacheo, reemplazo de carpeta, entre otros, se deben establecer de acuerdo con los criterios señalados en los documentos del proyecto y no deben superar en ningún caso el espesor total de la capa a fresar.

460.4.1 Preparación de la superficie existente

Inmediatamente antes de las operaciones de fresado, la superficie de pavimento se debe encontrar limpia y, por tanto, el constructor debe adelantar las operaciones de succión, barrido y/o soplado que se requieran para lograr tal condición.

460.4.2 Fresado del pavimento

El fresado se debe efectuar sobre el área que apruebe el interventor.

El material extraído de naturaleza asfáltica se denomina material de fresado. Este material se debe conservar a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la granulometría de los granulares o las propiedades del asfalto existente.

El material de fresado debe ser transportado y acopiado en los lugares que indiquen los documentos del proyecto o que establezca

el interventor y debe ser de propiedad del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS) respetando las leyes ambientales y de seguridad vial en vigor. Se exceptúan de esta disposición, los materiales provenientes de las capas de una construcción nueva que deban ser fresadas por el constructor como resultado de deficiencias en los trabajos de pavimentación que esté ejecutando, y cuyo retiro sea ordenado por el interventor, sin medida ni pago por parte de INVÍAS. En tal caso, el material de fresado es de propiedad del constructor quien, además, debe realizar a su costa el cargue, el transporte, el descargue y la disposición en vertedero de dichos materiales.

Durante la ejecución de los trabajos y manipulación del material de fresado, se debe evitar su contaminación.

En proximidades de sardineles y en otros sitios inaccesibles al equipo de fresado, el pavimento se debe remover empleando otros métodos que den lugar a una superficie apropiada.

El trabajo de fresado se puede realizar en varias capas de ser necesario, hasta alcanzar el espesor del proyecto, debiendo quedar una superficie nivelada y sin fracturas.

En la eventualidad de que al término de una jornada de trabajo no se complete el fresado en todo el ancho de la calzada, los bordes verticales, en sentido longitudinal, cuya altura supere cinco centímetros (5 cm) se deben suavizar, de manera que no impliquen peligro para el tránsito automotor. Igual precaución se debe tomar en los bordes transversales que queden al final de cada jornada.

Cualquiera que sea el método utilizado por el constructor, los trabajos de fresado no deben producir daños a objetos, estructuras y plantas que se encuentren cerca de la zona de acción de sus equipos y, por tanto, debe tomar las precauciones que corresponda y, es de su responsabilidad todos los daños y perjuicios que se ocasionen en dichos elementos durante el desarrollo de los trabajos. Al efecto, el interventor está facultado para exigir la modificación o el incremento de todas las medidas de seguridad que se hayan adoptado inicialmente según los criterios técnicos correspondientes.

460.4.3 Protección de estructuras existentes

El constructor debe identificar los elementos dispuestos en la vía tales como: señalización, estructuras menores, redes, entre otros, y debe garantizar su protección durante la ejecución de los trabajos. El constructor debe asumir entre otras las siguientes responsabilidades:

- Localizar las redes existentes.
- Gestionar todos los documentos para tener un mapeo total de las redes existentes.
- En caso de no contar con la información necesaria se deben realizar sondeos locales para evitar afectación de redes existentes.
- Todo daño a las estructuras existentes y su reparación son responsabilidad exclusiva del constructor.

460.4.4 Fases de los trabajos

Los trabajos se deben ejecutar de acuerdo con el plan de trabajo fijado en los documentos del proyecto.

460.4.5 Señalización e información en la obra

Se debe realizar un plan de manejo de tránsito para la ejecución de los trabajos.

460.4.6 Limitaciones en la ejecución

Los trabajos de fresado se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe 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.

460.4.7 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.

460.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

460.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se debe verificar el funcionamiento del equipo empleado y se deben levantar los perfiles que el interventor considere necesarios.

Se debe cumplir lo estipulado en el artículo 106 sobre los aspectos ambientales.

El interventor se debe abstener de aceptar en el acopio cualquier material fresado que resulte contaminado como resultado de una manipulación incorrecta por parte del constructor.

Si el material se contamina, el constructor debe disponer este como material de desecho de acuerdo con lo establecido en el numeral 460.4.7.

460.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

460.5.2.1 Espesor fresado

Se debe admitir una tolerancia de las cotas de la superficie resultante, respecto de las indicadas en los documentos del proyecto, hasta de cinco milímetros (5 mm). Los tramos donde se supere esta tolerancia se deben someter a tratamiento adicional por parte del constructor de acuerdo con las instrucciones del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

460.5.2.2 Regularidad superficial

Existen diferentes equipos para medir la regularidad superficial de los pavimentos. El constructor puede aplicar el equipo o método de ensayo que más convenga según las condiciones del sitio de ejecución de los trabajos. Debe reportar el valor del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Se recomienda que la medición del IRI se ejecute después del trabajo de fresado, para evaluar el estado final de la capa base.

Cuando sobre la superficie fresada se vaya a construir un tratamiento superficial, una lechada asfáltica o una mezcla discontinua en caliente, se debe comprobar el IRI en toda la longitud fresada y en cada carril, antes de su recibo definitivo. Su determinación se debe realizar con un procedimiento de precisión o por medio de un sistema de referencia inercial.

Las medidas de precisión se pueden adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-794 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma INV E-814.

Si se opta por el equipo de referencia inercial, este se debe validar previamente con uno de precisión en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se debe operar de acuerdo con la norma ASTM E950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo, las medidas se deben hacer en cada uno de los carriles de la superficie fresada y

los valores del IRI se presentan en metro por kilómetro (m/km), en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente. Un conjunto de cinco (5) tramos constituyen un lote.

No debe haber exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias en el procedimiento de fresado, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, etc., los cuales deben ser definidos por el interventor, con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la medida del perfil longitudinal.

Se entiende que la superficie fresada tiene una regularidad superficial aceptable, si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la Tabla 460 – 2.

Tabla 460 – 2. Valores máximos admisibles de IRI (m/km)

Porcentaje (%) de hectómetros	Pavimentos de construcción nueva y rehabilitados en espesor > 10 cm			Pavimentos rehabilitados en espesor ≤ 10 cm		
	NT1	NT2	NT3	NT1	NT2	NT3
40	2,4	1,9	1,4	2,9	2,4	1,9
80	3,0	2,5	2,0	3,5	3,0	2,5
100	3,5	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0

Si los resultados de rugosidad exceden estos límites, los defectos de regularidad se deben corregir mediante un fresado adicional en los tramos que, a criterio del interventor, incidan en el incumplimiento. Los espesores por fresar en cada tramo deben ser establecidos por el interventor y todos los costos que impliquen estas correcciones, deben ser asumidos

por el constructor. El material fresado por esta razón es de propiedad de INVÍAS.

460.6 Medida

La unidad de medida del pavimento asfáltico fresado debe ser el metro cuadrado (m²), aproximado al entero, de superficie fresada de

acuerdo con las exigencias de esta especificación y los alineamientos, las cotas y los espesores señalados en los documentos del proyecto.

El área tratada se debe determinar multiplicando la longitud fresada por el ancho tratado, el cual está establecido en los documentos del proyecto. No se debe medir ningún área por fuera de tales límites.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

460.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y hasta ser aprobada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de limpieza previa que requiera la superficie, el fresado para alcanzar las cotas o los espesores que indiquen los documentos del

proyecto o que autorice el interventor; el cargue, el transporte, la descarga y el acopio del material fresado en los sitios establecidos. La reparación a satisfacción de todos los elementos que se hayan afectado por la ejecución de los trabajos; la señalización preventiva y el ordenamiento del tránsito público durante el lapso de ejecución de los trabajos y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución del fresado del pavimento asfáltico.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

460.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
460.1	Fresado de pavimento asfáltico, en espesor de _____ cm	Metro cuadrado (m ²)
460.2	Microfresado de pavimento asfáltico, en espesor de _____ cm	Metro cuadrado (m ²)

Nota: se debe fijar un ítem de pago para cada espesor de fresado que se especifique en los documentos del proyecto.

Reciclado de pavimento asfáltico *in situ* empleando ligantes bituminosos

Artículo 461 – 22

461.1 Descripción

Este trabajo consiste en el acopio y la utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio o excedentes de una mezcla asfáltica no utilizada, la eventual adición de nuevos materiales pétreos, agua, mejoradores de adherencia, controladores de rotura, puzolanas y otros elementos de aporte, así como la incorporación de emulsión asfáltica o cemento asfáltico espumado y la mezcla, la extensión, la compactación y el curado de los materiales tratados, de acuerdo con los documentos del proyecto.

461.2 Materiales

461.2.1 Agregados pétreos

461.2.1.1 Agregados pétreos de reciclaje

Los agregados pétreos resultantes del fresado de las capas de pavimento en el espesor indicado en los documentos del proyecto, deben cumplir con la granulometría indicada en la Tabla 461 – 1.

Tabla 461 – 1. Franja granulométrica de los agregados reciclados *in situ* para uso como capa asfáltica

Material	Tamiz (mm / U.S. Standard)							
	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,00	0,425	0,075
	1 ½ Pulgadas	1 Pulgada	¾ Pulgada	⅜ Pulgada	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 200
	Pasa tamiz (%)							
Agregado pétreo de reciclaje, ajustado con material de adición cuando se requiera	100	75 – 100	65 – 100	45 – 75	30 – 60	20 – 45	10 – 30	5 – 20

461.2.1.2 Agregados pétreos de adición

En el caso de que se requiera la adición de material pétreo para satisfacer el requisito de

gradación, este debe cumplir con los requisitos de la Tabla 461 – 2.

Tabla 461 — 2. Requisitos de los agregados de adición para reciclado del pavimento existente

Característica	Norma de ensayo INV	Nivel de tránsito		
		NT-1	NT-2	NT-3
Dureza, agregado grueso (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles, máximo (%). (Nota).	E-218	40	40	40
Degradación en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	-	30	25
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos:	E-224	-	-	70
- Valor en seco, mínimo (kN)				75
- Relación húmedo/seco, mínimo (%)				
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, máximo (%):	E-220			
- Agregado grueso				
- Agregado fino				
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	NP	NP	NP
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo.	E-235	10	10	10
Terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%).	E-211	2	2	2
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)				
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%).	E-240	10	10	10
Caras fracturadas, mínimo (%): una cara/dos caras.	E-227	50/-	50/-	50/-
Geometría de las partículas, agregado fino (F)				
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%).	E-239	-	35	35
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca en el artículo 330, Base granular, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo.	E-148	80	80	100
Adhesividad, gradación combinada				
Resistencia conservada inmersión-compresión, mínimo (%).	E-622	50	50	50

Nota: se aceptan valores superiores de desgaste siempre y cuando el valor de Micro-Deval se cumpla; esta nota no resulta aplicable para tránsito NT1.

Es recomendable que el agregado de adición tenga características mineralógicas similares a las del agregado que se recicla, con el fin de evitar que el ligante tenga diferente adhesividad con cada uno de los componentes.

El producto del porcentaje que pasa el tamiz de 0,075 mm (nro. 200) del agregado combinado por su índice de plasticidad, no puede ser mayor de setenta y dos (72).

461.2.2 Materiales bituminosos

Para los reciclados *in situ* con emulsión asfáltica, se debe emplear una de rompimiento lento, del tipo CRL-57, cuyo residuo de destilación tenga una penetración entre cien y doscientas cincuenta (100 — 250) décimas de milímetro, que sea compatible con los agregados pétreos, la cual debe cumplir los requisitos de calidad establecidos en el artículo 411. Si se requiere una emulsión de diferentes características, se debe contar con una especificación particular.

Se debe comprobar, además, la compatibilidad de la emulsión asfáltica con el material fresado mediante el ensayo de envuelta y resistencia al desplazamiento sin adición de carbonato de calcio, según la norma de ensayo INV E-769.

Para los reciclados con cemento asfáltico espumado, el ligante es de penetración 80 — 100, compatible con los agregados pétreos, el cual debe cumplir los requisitos de calidad establecidos en el artículo 410. Si se requiere un cemento asfáltico de diferentes características, este debe ser objeto de una especificación particular.

En cualquier caso, se prohíbe la adición de fluidificantes ligeros o crudos de petróleo para producir el reblandecimiento del asfalto del pavimento existente.

461.2.3 Puzolanas

Se consideran como tales, algunos llenantes comerciales que complementan la acción del ligante asfáltico en cuanto a su reactividad.

Los más utilizados son el cemento hidráulico, la cal hidratada y las cenizas volantes, entre otros.

Si los llenantes son adicionados con el propósito de controlar la rotura de la emulsión asfáltica, no se deben considerar como puzolanas y, en consecuencia, no debe haber pago separado por su suministro.

461.2.4 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto

Cuando se requieran, se deben ajustar a lo descrito en el artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea del aditivo deben tener la aprobación del interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no va a producir 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 es responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobado por este, sin cargo alguno para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

461.2.5 Agua

El agua requerida para el humedecimiento previo de los agregados pétreos debe ser limpia y libre de materia orgánica. El agua debe cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 461 — 3.

Tabla 461 — 3. Requisitos del agua no potable para reciclados *in situ* empleando ligantes bituminosos

Característica	Norma de ensayo ASTM	Requisito
pH	D1293	5,5 – 8,0
Contenido de sulfatos, expresado como $\text{SO}_4^{=}$, máximo (kg/m^3)	D516	1,0

461.3 Equipo

En adición a lo que resulte aplicable del numeral 400.3 del artículo 400, el equipo para los trabajos aquí especificados debe contar con elementos para la explotación, cargues, transportes, trituración, lavado cuando se requiera, y clasificación de los eventuales agregados pétreos de adición para la corrección granulométrica; para la extracción de agua; para el almacenamiento, transporte y distribución del agua y del ligante asfáltico; para la disgregación del pavimento existente y para la mezcla adecuada de todos los ingredientes; así como para la compactación y conformación de la capa reciclada.

Salvo justificación en contrario, es obligatorio el empleo de máquinas recicladoras que integren en una sola unidad las operaciones de fresado, de dosificación, de distribución de los fluidos, de mezcla y de extensión de la mezcla elaborada.

La máquina recicladora debe estar provista de un rotor de fresado de eje horizontal y debe ser capaz de fresar el pavimento en la profundidad y ancho especificados, para producir un material homogéneo en una sola pasada a velocidad constante. La máquina debe poseer un dispositivo de control automático que asegure el fresado en el espesor especificado, y de un elemento que evite el levantamiento del material en bloques.

La máquina recicladora debe tener la posibilidad de introducir los aditivos líquidos de manera uniforme y precisa. Debe, además, estar equipada con un tacómetro acoplado al control de la bomba de caudal variable, que asegure que el ligante solo es adicionado cuando la máquina está en marcha. El sistema de medida debe incluir un totalizador que permita conocer la cantidad de producto bituminoso que se está utilizando en cualquier período y un medidor de caudal que indique la rata instantánea de flujo durante la operación de mezclado. El mezclador debe garantizar una mezcla homogénea y uniforme en todo el ancho y profundidad del reciclado.

El suministro de la emulsión asfáltica, del cemento asfáltico y del agua se debe realizar desde depósitos móviles, de manera que no se produzcan paradas innecesarias de la máquina recicladora.

Los equipos de compactación deben ser autopropulsados, tener inversores de marcha suaves y disponer de elementos para la limpieza de los rodillos o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario. El tren de compactación se debe definir durante la fase de experimentación, pero, en todo caso, debe estar constituido, como mínimo, por un (1) compactador vibratorio de rodillo metálico y un (1) compactador de neumáticos. Las presiones lineales, estáticas o dinámicas y las presiones

de contacto de los diversos tipos de compactadores deben ser las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir rotura del agregado.

Los compactadores de rodillos no deben presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios deben disponer de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha. Es aconsejable que el dispositivo sea automático. Los compactadores de neumáticos deben tener ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslapo de las huellas delanteras y traseras.

461.4 Ejecución de los trabajos

461.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el numeral 105.13.3 del artículo 105, Desarrollo de los trabajos.

461.4.2 Estudio de los materiales por reciclar

Se debe realizar una inspección a la superficie por reciclar y comprobar los datos del reconocimiento del proyecto. Se deben tomar muestras representativas de los materiales existentes en los diferentes tramos y comprobar el espesor y el tipo de material en las diferentes capas. Como mínimo, se deben realizar dos (2) perforaciones por kilómetro o por tramo diferenciado, si su longitud fuese menor.

Se deben tomar muestras de material fresado en el espesor previsto en los documentos del proyecto para el reciclado, empleando

una máquina fresadora de iguales o similares características, o que produzca un fresado adecuado o semejante, a la máquina que exijan los pliegos de condiciones para la ejecución de la obra. Sobre las muestras de cada material fresado se debe determinar la granulometría, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-782.

Los resultados del reconocimiento del terreno, de las perforaciones y de los ensayos de granulometría permiten verificar que los tramos en los cuales se dividió la obra en los documentos del proyecto son suficientemente homogéneos, en relación con los objetivos pretendidos para el reciclado. Se debe considerar que no hay homogeneidad en un tramo, cuando los resultados de los ensayos individuales de granulometría y los espesores de las capas por reciclar presenten, respecto del promedio de los valores encontrados, variaciones superiores a las tolerancias establecidas en la Tabla 461 — 4, o cuando se detecte una variación manifiesta en el tipo de agregados.

Una vez comprobado que el material fresado cumple las condiciones establecidas, el interventor debe aprobar el material y debe fijar como características de referencia de cada tramo homogéneo los espesores promedio de las capas asfálticas y granulares por reciclar y la granulometría promedio del material fresado. Estos valores promedio deben diferir de los valores límites en un margen suficiente para que sea razonable esperar que, con la heterogeneidad propia del material y de los espesores y con la dispersión que introducen la ejecución en obra y su control, los valores obtenidos en el control de la calidad de ejecución de las obras cumplan con los límites establecidos.

Cuando la dispersión en la granulometría sea excesiva, se debe estudiar si ella se

corrige con la incorporación de agregados de adición.

Tabla 461 — 4. Tolerancias en la granulometría y en el espesor del material por reciclar para considerar que un tramo es homogéneo

Característica		Tolerancia
Granulometría: tolerancia respecto a la masa total del material por reciclar (%)	Porcentaje que pasa tamiz de 2,00 mm (nro. 10) y mayores	± 6
	Porcentaje que pasa tamiz de 0,425 mm (nro. 40)	± 4
	Porcentaje que pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200)	± 3
Espesor: variación en el espesor de la capa (mm)	Capas asfálticas	25
	Capas granulares	50

Si resulta imposible cumplir en un tramo con estas tolerancias, el reciclado no resulta posible, en los términos que establece el presente artículo.

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

461.4.3.1 Generalidades

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

El constructor debe estimar la cantidad óptima teórica necesaria de ligante residual para la combinación de agregados de cada tramo homogéneo y debe determinar el tipo y el porcentaje de emulsión y/o cemento asfáltico espumado, de los aditivos y otros elementos por incorporar, para de producir una mezcla cuya calidad sea comparable a una base estabilizada con emulsión asfáltica elaborada con agregados pétreos y ligante asfáltico nuevos.

Previamente a la definición del contenido de ligante, el constructor debe establecer la necesidad de incorporar agregados pétreos nuevos en la mezcla para corregir deficiencias granulométricas y debe indicar la proporción en que ellos deban intervenir.

El constructor también debe definir la necesidad de prehumedecer el material preparado para la mezcla y debe determinar las humedades más apropiadas de mezcla y compactación. La humedad de compactación se debe determinar mediante el ensayo modificado de compactación (norma de ensayo INV E-142) sobre el material por reciclar. La humedad óptima de compactación es, salvo instrucción en contrario del interventor, la correspondiente a la óptima del ensayo menos un cero coma cinco por ciento (0,5 %) y menos el porcentaje de emulsión o cemento asfáltico espumado a incorporar en la mezcla. Esta humedad se debe ajustar, si fuese necesario, durante la fase de experimentación.

Las mezclas de reciclado *in situ* se deben diseñar siguiendo los métodos indicados en la Tabla 461 — 5.

Tabla 461 — 5. Método de diseño para mezclas de reciclado de pavimentos asfálticos *in situ* empleando ligantes bituminosos

Tipo de ligante	Norma de ensayo INV	Método
Emulsión asfáltica	E-622	Inmersión-compresión
Asfalto espumado	E-785	Resistencia a la tracción indirecta

Se pueden utilizar otros procedimientos para el diseño de las mezclas. En tal caso, los criterios de selección del porcentaje óptimo de ligante se deben definir.

461.4.3.2 Diseño de la mezcla por resistencia

461.4.3.2.1 Diseño de la mezcla para reciclado con emulsión asfáltica

Se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos cuatro (4) contenidos de ligante), para someterlas al ensayo de inmersión-compresión. El contenido óptimo de ligante se debe determinar aplicando los criterios de la Tabla 461 — 6.

Tabla 461 — 6. Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de ligante en reciclados con emulsión asfáltica

Parámetro	Norma de ensayo INV	Valor
Resistencia de probetas curadas en seco R_s , mínimo (MPa).	E-622	2,0
Resistencia conservada tras curado húmedo $R_c = Rh/R_s$, mínimo (%).		75

El porcentaje óptimo de ligante residual es aquel que, cumpliendo las exigencias indicadas, permita alcanzar el valor máximo de resistencia tras curado húmedo (Rh).

461.4.3.2.2 Diseño de mezcla para reciclado con asfalto espumado

Se deben elaborar mezclas con diferentes contenidos de ligante por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos cuatro (4) contenidos de ligante), para someterlas al

ensayo de tracción indirecta. En la Tabla 461 — 7 se presentan los criterios para la elaboración del asfalto espumado y la determinación del contenido óptimo de ligante.

Tabla 461 — 7. Criterios para la elaboración del asfalto espumado y la determinación del contenido óptimo de ligante en reciclados con asfalto espumado

Parámetro		Norma de ensayo INV	Valor
Preparación del asfalto espumado	Relación de expansión, mínimo	E-785	10
	Vida media, mínimo (segundos)		10
Determinación del contenido óptimo de ligante	Resistencia de probetas curadas en seco R_s , mínimo (MPa)		0,25
	Resistencia conservada tras curado húmedo $R_c = Rh/R_s$, mínimo (%)		50

El porcentaje óptimo de ligante residual es aquel que, al cumplir las exigencias indicadas, permite alcanzar el valor máximo de resistencia tras curado húmedo (Rh).

461.4.3.3 Informe de diseño de la mezcla

El informe de diseño que presente el constructor, en el cual debe proponer la fórmula de trabajo por aplicar en cada tramo homogéneo, para consideración y eventual aprobación del interventor, debe contener, cuando menos, la siguiente información:

- La identificación del tramo homogéneo y los espesores y gradaciones característicos de los materiales por reciclar.
- La identificación y la proporción (en masa seca) de cada fracción del material granular, si se requieren agregados de adición.
- La granulometría de cada fracción del material granular y la granulometría combinada, si se requieren agregados de adición.
- El porcentaje de agua para mezcla y para compactación, en relación con la masa seca del componente mineral.

- El porcentaje óptimo de ligante residual y de emulsión (o asfalto espumado), en relación con la masa seca del material reciclado y el componente mineral adicional si se requiere.
- La identificación y la dosificación de puzolanas y de aditivos, si se requieren, los cuales deben ser de la misma marca utilizada en las pruebas de laboratorio y en la fase de experimentación.
- La relación de expansión y la vida media de la mezcla óptima, en el caso de reciclados con asfalto espumado.
- Las resistencias obtenidas a la compresión en la prueba de inmersión-compresión o a la tracción indirecta, según el caso.
- La masa unitaria seca máxima y la humedad óptima correspondientes a la dosificación de diseño.
- Los resultados de los ensayos complementarios que indique el pliego de condiciones.

461.4.3.4 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 varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla, se debe requerir el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

Los trabajos no se pueden iniciar a escala industrial, si la fórmula de trabajo definitiva para cada tramo no ha sido aprobada por el interventor.

La aprobación de la fórmula de trabajo por parte del interventor no exime al constructor de su plena responsabilidad de alcanzar, con base en ella, la calidad exigida en el presente artículo.

461.4.4 Remoción de obstáculos

Antes de proceder con la disgregación del pavimento, se deben demoler parcial y temporalmente las estructuras de servicios públicos ubicadas dentro del área de pavimento por reciclar, cubriendo de manera adecuada los orificios resultantes, de manera que el proceso de reciclado no afecte de manera adversa las estructuras, ni estas produzcan daño a la máquina recicladora.

La profundidad de demolición de las estructuras debe ser la necesaria para proporcionar una altura libre suficiente entre la tapa temporal de ellas y la superficie del pavimento existente, de manera que permita la operación libre y continua de la recicladora.

Las tapas temporales de las estructuras se deben asegurar adecuadamente a ellas y deben tener la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos generados durante el proceso de reciclado.

La localización de las estructuras demolidas parcial y temporalmente debe ser relacionada con precisión, de manera que, una vez concluido el trabajo de reciclado, ellas se puedan ubicar y reconstruir hasta el nivel definitivo de la rasante del pavimento.

461.4.5 Preparación de la superficie existente

También con antelación a la disgregación del pavimento, el constructor debe efectuar los bacheos en las zonas que le indique el interventor, las cuales deben corresponder a fallas de origen profundo que requieran corrección previa, con el fin de evitar deficiencias en el soporte de la capa reciclada. Las excavaciones se deben rellenar con material de base granular hasta el nivel de la rasante existente, colocándolo y compactándolo en espesores que permitan obtener las densidades exigidas para dicho material en el artículo 330.

Inmediatamente antes de proceder a la disgregación del pavimento, se debe barrer y/o soplar la superficie por tratar.

461.4.6 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

461.4.7 Disgregación del pavimento existente y eventual incorporación del agregado de adición

Empleando el equipo y el procedimiento aprobados durante la fase de experimentación, el constructor debe disgregar la capa bituminosa existente y la debe mezclar en una sola operación con parte de la base bituminosa

subyacente en el espesor de diseño y, como resultado de dicho proceso, el material debe cumplir la gradación establecida en el numeral 461.2.1. Si no se cumple este requisito, se deben detener los trabajos hasta eliminar las causas de la anomalía.

En caso de que se requiera la adición de material pétreo para obtener la granulometría establecida en la fórmula de trabajo, la operación de disgregación debe ser completada antes de proceder a la adición y la mezcla del agregado nuevo. Los procedimientos para la incorporación del agregado de adición y su mezcla y homogenización con el material disgregado, así como para la conformación del material combinado sobre la calzada, debe ser establecido por el interventor durante la fase de experimentación, de acuerdo con las condiciones particulares de la obra.

Todo sobretamaño que no haya sido reducido durante el proceso, debe ser retirado y dispuesto en el sitio que haya autorizado el interventor.

Si alguna sección de pavimento fresado debe ser abierta temporalmente al tránsito, debe ser previamente compactada y conformada hasta ser aprobada por el interventor.

En las áreas donde resulte imposible la operación de la máquina recicladora, el material se debe demoler con otros medios mecánicos aprobados por el interventor. Los productos así obtenidos se deben trasladar a un centro de acopio autorizado. Estas áreas se deben rellenar con materiales que cumplan los requisitos exigidos para el conjunto de la obra.

Cuando el diseño determine que el espesor de la capa reciclada compactada sea superior

a doscientos milímetros (200 mm), el proceso de reciclado se debe realizar en dos (2) capas de espesor aproximadamente igual, sin que ninguna de ellas tenga menos de cien milímetros (100 mm). En este caso, se debe retirar provisionalmente la parte de material con la que se debe construir la capa superior, mientras se recicla, extiende, compacta y cura la capa inferior. Para cada capa se deben aplicar los procedimientos de ejecución y control descritos en el presente artículo.

461.4.8 Incorporación de aditivos, agua y producto bituminoso, elaboración y extensión de la mezcla

Antes de iniciar el proceso en obra, se deben purgar y poner a punto las bombas y difusores de agua y producto bituminoso de la recicladora, por fuera del lugar de empleo, para garantizar las dosificaciones establecidas en la fórmula de trabajo, de manera continua y uniforme. En cada parada de la recicladora se deben limpiar los difusores y, como mínimo, dos (2) veces por día. Las operaciones de abastecimiento de agua y productos bituminosos a la máquina se deben realizar sin afectar la circulación en los carriles que se mantengan en servicio.

La aplicación de los aditivos puzolánicos, en la cantidad especificada, se debe hacer sobre la superficie del pavimento por reciclar, inmediatamente antes del paso de la máquina recicladora, si el proceso se va a realizar en una sola capa; en caso contrario, se deben aplicar sobre el material fresado en cada capa.

Cuando se trabaje en una sola capa y no se requiera la adición de agregados nuevos, la máquina recicladora debe ejecutar en una sola pasada las operaciones de disgregación,

adición de fluidos y mezcla homogénea en todo el ancho y profundidad del tratamiento.

Cuando el ancho de la superficie por reciclar sea mayor que el de operación de la recicladora, el trabajo se debe realizar por franjas paralelas que se deben traslapar en un ancho comprendido entre quince y treinta centímetros (15 cm – 30 cm), para no dejar materiales sin mezclar en los bordes. Si se están usando dos (2) equipos de reciclado en paralelo, se debe adoptar la misma precaución y el desfase en la operación de ellos debe ser el menor posible, para evitar la formación de una junta longitudinal.

La operación de extensión se debe detener si se observa que se produce segregación o contaminación y se deben efectuar las correcciones necesarias antes de continuar los trabajos.

Cuando se deba trabajar en dos capas, la superior solo se puede extender cuando la primera haya sido aprobada por el interventor y, además, haya alcanzado el nivel de curado exigido en el numeral 461.4.12. Como guía general, una capa reciclada está en capacidad de recibir la capa superior cuando la humedad de aquella, en la mitad de su espesor, sea constante e inferior a uno por ciento (1 %).

Las operaciones de reciclado se deben realizar en segmentos completos. Cada segmento debe ser homogenizado, mezclado y compactado en la misma jornada de trabajo.

Toda mezcla afectada por las aguas lluvias durante su elaboración o después de compactada, puede ser corregida por el constructor

si, por instrucción del interventor, ello resulta posible; en caso contrario, debe ser reemplazada por una de calidad satisfactoria. En ninguno de los dos casos debe haber lugar a pago adicional alguno por parte de INVÍAS.

461.4.9 Compactación de la mezcla

Extendida la mezcla, se debe proceder a su compactación en el instante y con el equipo y procedimiento aprobados durante la fase de experimentación, hasta lograr los niveles de compactación exigidos. Sin embargo, no pueden transcurrir más de treinta minutos (30 min) desde su extensión hasta el inicio de la compactación.

La compactación se debe realizar longitudinalmente, comenzando por el borde más bajo de la franja que se esté tratando, de manera continua, hasta alcanzar la masa unitaria especificada en el presente artículo. Al compactar cada franja se debe efectuar un traslapo de no menos de quince centímetros (15 cm) con la precedente.

Los rodillos deben llevar su rueda motriz hacia el frente. Los cambios de dirección se deben hacer sobre la mezcla ya compactada y los cambios de sentido se deben efectuar con suavidad.

Siempre que el interventor lo considere necesario, se deben aplicar riegos de agua durante el proceso de compactación para compensar las pérdidas por evaporación y para cerrar la textura de la capa.

En los lugares inaccesibles a los equipos convencionales de compactación, se permite la operación de placas o rodillos vibratorios

pequeños, pero de características apropiadas para lograr resultados similares a los obtenidos con el equipo de compactación aprobado.

De ser preciso, se debe efectuar un perfilado final con motoniveladora, con el fin de obtener una pendiente transversal adecuada para el drenaje del agua superficial.

461.4.10 Juntas de trabajo

Después de extendida y compactada una franja, se debe realizar la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado; de lo contrario, se debe ejecutar una junta longitudinal, aplicando una capa delgada y uniforme de emulsión asfáltica antes de extender la nueva franja. Se debe procurar que las juntas longitudinales queden en los bordes de los carriles de la vía y, en caso excepcional, en el centro de ellos, pero nunca en las zonas de concentración de la circulación de las ruedas del tránsito automotor.

Las juntas transversales de trabajo se deben efectuar fresando el material de una zona ya tratada en la longitud suficiente (en general no menos de un diámetro del rotor de fresado), bajando hasta la profundidad especificada sin avanzar, para que se pueda regular con precisión la incorporación del ligante en la zona no tratada.

461.4.11 Apertura al tránsito

Terminada la compactación, la capa se puede abrir al tránsito, limitando la velocidad de los vehículos a treinta kilómetros por hora (30 km/h) durante las primeras cuarenta y ocho horas (48 h), cuando el reciclado se haya realizado con asfalto espumado. Si el reciclado se ha

realizado con emulsión asfáltica, la apertura no se puede realizar antes de tres días (3 d), aunque el plazo preciso debe ser definido por el interventor.

461.4.12 Curado y protección superficial de la capa compactada

Las capas recicladas *in situ* requieren un período de curado para su maduración, antes de que se autorice su cobertura. El tiempo de curado debe ser el suficiente para que el contenido de humedad del material reciclado y compactado sea inferior a uno por ciento (1 %). Por lo general, dicho período es, como mínimo, de diez días (10 d) en el caso de reciclados con emulsión asfáltica y de cinco días (5 d) cuando se utilice cemento asfáltico espumado, dependiendo de las condiciones climáticas.

Durante dicho lapso, el constructor debe aplicar los riegos de protección que le solicite el interventor, para prevenir el deterioro de la capa reciclada por la acción de las aguas superficiales y del tránsito automotor. Dichos riegos se deben realizar de acuerdo con el artículo 422, Riego de curado, excepto que la emulsión va a estar diluida en agua de manera que el ligante residual sea aproximadamente treinta por ciento (30 %) y la dosificación del ligante va a estar entre cero coma dos y cero coma tres kilogramos de ligante residual por metro cuadrado (0,2 kg/m² – 0,3 kg/m²).

461.4.13 Conservación

El constructor debe conservar la capa de pavimento reciclado *in situ* en perfectas condiciones hasta que se construya la capa superior prevista en los documentos del

proyecto. Todo daño que se presente debe ser corregido, a su costa, hasta contar con la aprobación del interventor.

461.4.14 Limitaciones en la ejecución

No se deben permitir trabajos de reciclado *in situ* en el lugar con productos bituminosos cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C) o en instantes en que haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra.

Los trabajos de construcción del pavimento reciclado *in situ* con ligantes bituminosos se deben efectuar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera culminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre que el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte adecuado, y que cuente con la aprobación del interventor. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe permitir el trabajo nocturno y debe poner a disposición de la obra el equipo y personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

461.4.15 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.

461.4.16 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y la compactación, tales como

protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, deben ser corregidos por el constructor, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor. El constructor debe proporcionar trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades de la capa construida.

461.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

461.5.1 Controles

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

461.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

461.5.2.1 Calidad del producto bituminoso

Se deben aplicar los requisitos de calidad, los controles y los criterios de aceptación para el cemento asfáltico establecidos en los artículos 410 o 411, según corresponda.

En el caso de reciclado con asfalto espumado, se deben realizar pruebas para verificar la relación de expansión y la vida media.

461.5.2.2 Calidad del agua

Siempre que se tenga alguna incertidumbre en relación con la calidad del agua utilizada en el reciclado *in situ* con ligantes bituminosos, debe verificar su pH y su contenido de sulfatos. Sus resultados deben satisfacer las exigencias del numeral 461.2.5 para permitir su empleo. Si no las satisfacen, se debe impedir el uso posterior

de dicha agua y los tramos ya elaborados con esta se deben someter a observación.

461.5.2.3 Calidad de los aditivos y de otros elementos de aporte

Se deben realizar las pruebas requeridas para verificar la calidad de estos productos, cada vez que se considere necesario. El incumplimiento de las especificaciones pertinentes de estos productos implica el rechazo del envío correspondiente.

461.5.2.4 Calidad de los agregados pétreos de adición

En caso de que se requieran agregados pétreos de adición, se deben realizar los siguientes controles:

461.5.2.4.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se deben tomar cuatro (4) muestras y a cada

fracción de ellas se le deben realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 461 — 2. Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas en dicha tabla, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

461.5.2.4.2 Control de producción

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

Además, debe efectuar las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 461 — 8.

Tabla 461 — 8. Ensayos de verificación sobre los agregados de adición

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Composición (F)		
Granulometría	E-213	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (O)		
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	E-218	1 por mes
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval	E-238	1 por mes
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos	E-224	1 por mes
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220	1 por mes
Limpieza, gradación combinada (F)		
Límite líquido	E-125	1 por jornada
Índice de Plasticidad	E-125 y E-126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana

Característica	Norma de ensayo INV	Frecuencia
Limpieza, gradación combinada (F)		
Valor de azul de metileno	E-235	1 por semana
Terrones de arcilla y partículas deleznable	E-211	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240	1 por semana
Caras fracturadas	E-227	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A	E-239	1 por jornada
Resistencia (F)		
CBR	E-148	1 por mes

El interventor puede autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos hasta en cincuenta por ciento (50 %) de lo indicado en la Tabla 461 — 8, 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.

No se deben emplear agregados minerales que no satisfagan los requisitos pertinentes del numeral 461.2.1.2. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se deben tomar dos (2) muestras adicionales del material y se debe repetir la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deben ser satisfactorios o, de lo contrario, el interventor no debe autorizar la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

461.5.2.5 Composición de la mezcla

Para efectos del control, se debe considerar como lote el volumen de material que resulte de aplicar los criterios del numeral 461.5.2.7.1.

Cuantitativamente, se deben realizar los siguientes controles:

461.5.2.5.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral 461.5.2.7.1, se debe determinar el contenido de asfalto residual (norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (*ART* %) tiene una tolerancia de uno por ciento (1,0 %) con respecto al establecido en la fórmula de trabajo (*ARF* %). Dicho porcentaje incluye tanto la cantidad de ligante aportada por la emulsión o el cemento asfáltico espumado, como la suministrada por la estructura que se recicla.

$$ARF \% - 1,0 \% \leq ART \% \leq ARF \% + 1,0 \%$$

[461.1]

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (*ARI* %), no puede diferir del valor medio del lote (*ART*%) en más de uno por ciento (1,0 %), admitiéndose solo un (1) valor por fuera de este intervalo.

$$ART \% - 1,0 \% \leq ART \% \leq ART \% + 1,0 \%$$

[461.2]

Un porcentaje de asfalto residual fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el constructor demuestre que no hay problemas de comportamiento de la capa reciclada.

En caso de rechazo, la capa reciclada correspondiente al lote controlado debe ser levantada y corregida o reemplazada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

461.5.2.5.2 Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se debe determinar la

composición granulométrica de los agregados, mediante la norma de ensayo INV E-782. Las curvas obtenidas se deben ajustar a la establecida al determinar la fórmula de trabajo, con las tolerancias que se indican en la Tabla 461 — 9.

Cuando los valores obtenidos incumplan este requisito, el constructor debe preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje de emulsión o asfalto espumado que dé lugar al contenido medio de asfalto residual de la mezcla elaborada con dicho material. Ella se debe someter a las pruebas mencionadas en el numeral 461.4.3. Si todos los requisitos allí indicados no se cumplen, se debe rechazar el lote al cual correspondan esas muestras.

Tabla 461 — 9. Tolerancias granulométricas de los agregados para reciclado *in situ* empleando ligantes bituminosos

Tamiz	Tolerancia en puntos de porcentaje (%) sobre la masa seca de los agregados
2,00 mm (nro. 10) y mayores	± 6
0,425 mm (nro. 40)	± 4
0,075 mm (nro. 200)	± 3

461.5.2.6 Calidad de la mezcla

461.5.2.6.1 Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se deben moldear probetas (tres (3) por muestra) para verificar en el laboratorio su resistencia en el ensayo de inmersión-compresión (norma INV E-622) cuando el reciclado se ejecute con emulsión asfáltica o en el ensayo de tracción indirecta

(norma INV E-785) cuando se realice con asfalto espumado. Tres (3) de ellas se deben curar en seco y tres (3) bajo condición húmeda.

El promedio de la resistencia de las tres (3) probetas sometidas a curado seco (R_m) debe superar o al menos igualar al noventa por ciento (90 %) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (R_t). Un criterio similar se debe aplicar para las probetas sometidas a curado húmedo.

$$R_m \geq 0,90 * R_t \quad [461.3]$$

Además, la resistencia de cada probeta (R_i) debe ser igual o superior al ochenta por ciento (80 %) del valor medio de su respectivo grupo, admitiéndose solo un (1) valor individual por debajo de ese límite:

$$R_i \geq 0,80 * R_m \quad [461.4]$$

A su vez, la resistencia conservada promedio (R_{cm}) debe ser, como mínimo, el setenta y cinco por ciento (75 %) en las mezclas elaboradas con emulsión asfáltica y el cincuenta por ciento (50 %) en las elaboradas con asfalto espumado, sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

Si uno o más de estos requisitos se incumplen, se debe rechazar el lote al cual representan las muestras. En caso de rechazo, la capa reciclada correspondiente al lote controlado debe ser levantada mediante fresado y debe ser corregida o reemplazada hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

Si el incumplimiento se presenta en dos (2) lotes consecutivos, se deben suspender los trabajos hasta que se estudie una nueva fórmula de trabajo que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en el numeral 461.4.3, para el tipo de mezcla que se esté evaluando.

461.5.2.7 Calidad del producto terminado

461.5.2.7.1 Tamaño del lote

Se debe considerar como lote, que se acepta o rechaza en conjunto, la menor área construida

que resulte de aplicar los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla asfáltica reciclada:

- Quinientos metros (500 m) de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de mezcla colocada.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Además, sobre cada lote se deben realizar las siguientes verificaciones.

461.5.2.7.2 Aspectos generales

La capa terminada debe 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 recicla, excluidos sus chaflanes, no puede ser menor que la señalada en los documentos del proyecto. La cota definitiva de cualquier punto de la capa reciclada *in situ* no puede variar en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Las áreas del pavimento reciclado *in situ* con productos bituminosos que presenten defectos de calidad y/o terminación dadas en la presente especificación, deben ser corregidas por el constructor de acuerdo con las instrucciones del interventor y a satisfacción de este, sin que ello genere costo adicional alguno para el INVÍAS.

461.5.2.7.3 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa 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. Se deben efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de pavimento asfáltico reciclado *in situ* con ligantes bituminosos, se debe calcular su grado de compactación, a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y del ensayo de relaciones humedad-peso unitario (ensayo modificado de compactación), mediante la expresión que resulte aplicable entre las siguientes:

- Material sin sobretamaños:

$$GC_i = \frac{Y_{d,i}}{Y_{d,máx}} * 100 \quad [461.5]$$

- Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{Y_{d,i}}{CY_{d,máx}} * 100 \quad [461.6]$$

Donde:

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

$Y_{d,i}$, valor individual del peso unitario seco del material en el terreno, determinado por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, INV E-162 y INV E-164, sin efectuar corrección por presencia de sobretamaños de manera que corresponda a la muestra total.

$Y_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo de compactación modificado) sobre una muestra representativa del mismo.

$CY_{d,máx}$, valor del peso unitario seco máximo del material, obtenido según la norma de ensayo INV E-142 (ensayo de compactación modificado) sobre una muestra representativa del mismo, y corregido por sobretamaños, según la norma de ensayo INV E-143, numeral 3.1, de manera que corresponda a la muestra total.

Sobretamaños (fracción gruesa) (P_{FG}), porción de la muestra total retenida en el tamiz de control correspondiente al método utilizado para realizar el ensayo de compactación (norma INV E-142).

El peso unitario seco máximo corregido del material ($CY_{d,máx}$) que se use para calcular el grado de compactación individual (GC_i) se obtiene, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños (P_{FG}) presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se deben aplicar los siguientes criterios:

$$GC_i (90) \geq 95,0 \% \quad \text{se acepta el lote} \quad [461.7]$$

$$GC_i (90) < 95,0 \% \quad \text{se rechaza el lote} \quad [461.8]$$

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 calcula 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).

Las comprobaciones de la compactación se deben realizar cuando se haya cumplido

sustancialmente el período de curado de la mezcla, conforme se haya determinado en la fase de experimentación.

En caso de rechazo, la capa de pavimento reciclado *in situ* correspondiente al lote controlado debe ser levantada y corregida hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

461.5.2.7.4 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).

$$e_m \geq e_d \quad [461.9]$$

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) debe ser, como mínimo, igual al noventa y ocho por ciento (98 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0,98 * e_d \quad [461.10]$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, se debe rechazar el lote, salvo que el constructor se comprometa a compensar la deficiencia incrementando el espesor de la capa superior del pavimento en el espesor faltante, sin que el exceso de espesor por colocar de esta última genere costo alguno para INVÍAS.

En caso de rechazo, la capa de pavimento reciclado *in situ* correspondiente al lote controlado se debe levantar y corregir hasta ser aprobada por el interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

461.5.2.7.5 Planicidad

La superficie acabada no puede presentar, en ningún punto, zonas de acumulación de agua ni irregularidades mayores de quince milímetros (15 mm), cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793. La regla se debe colocar tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el interventor, los cuales no pueden corresponder a puntos donde haya cambios de pendiente transversal, de acuerdo con el diseño.

Todas las áreas donde los defectos de terminación excedan estas tolerancias deben ser corregidas por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y hasta ser aprobadas por este, sin que ello genere costo adicional alguno para INVÍAS.

461.5.2.7.6 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa de pavimento reciclado *in situ* con productos bituminosos, por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al constructor, el interventor debe delimitar el área afectada y debe ordenar las correcciones necesarias, por cuyo trabajo debe autorizar pago al constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

461.5.2.7.7 Medidas de deflexión

El interventor debe verificar la homogeneidad de la estructura construida al nivel de

la capa de mezcla asfáltica reciclada *in situ*, realizando medidas de deflexión con alguno de los dispositivos presentados en la norma de ensayo INV E-797, de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a él. Los resultados de las medidas, que se deben realizar en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no deben constituir la base para aceptación o rechazo de la capa construida, sino que deben servir a INVÍAS para verificar la homogeneidad de la estructura que se construye y realizar los ajustes que pudieran resultar necesarios al diseño estructural del pavimento.

En todo caso, se recomienda en la medida de lo posible que no se emplee la Viga Benkelman para las mediciones de las deflexiones de la capa, especialmente en niveles de tránsito altos como el NT3.

461.6 Medida

Rige lo descrito en el numeral 400.6 y en particular en el numeral 400.6.2 del artículo 400.

461.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el numeral 400.7 y en particular en el numeral 400.7.4 del artículo 400.

El precio unitario debe incluir, también, costo del retiro provisional de la parte del material con la que se debe construir la capa superior de reciclado mientras se construye la capa inferior, cuando el diseño determine que el

espesor de la capa reciclada compactada es superior a doscientos milímetros (200 mm), proceso al cual se hace referencia en el numeral 461.4.7.

Así mismo, el precio unitario debe incluir el costo de los riegos de protección mencionados en el numeral 461.4.12.

Se excluyen del precio unitario los siguientes aspectos:

- El suministro y el almacenamiento de los ligantes bituminosos, que se deben pagar de acuerdo con los artículos 410 o 411, según corresponda.
- La demolición de estructuras de servicios públicos a la cual se hace referencia en el numeral 461.4.5 y su posterior reconstrucción se deben pagar de acuerdo con la(s) especificación(es) particular(es) que se redacte(n) para estas actividades.
- La puzolana que se incluya en la mezcla para complementar la reactividad, de acuerdo con lo indicado en el numeral 461.2.3, que se debe pagar como se indica en una especificación particular.

461.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
461.1	Pavimento reciclado <i>in situ</i> con emulsión asfáltica	Metro cúbico (m ³)
461.2	Pavimento reciclado <i>in situ</i> con asfalto espumado	Metro cúbico (m ³)

Reciclado de pavimento asfáltico en planta y en caliente

Artículo 462 – 22

462.1 Descripción

Este trabajo consiste en el acopio y la utilización de materiales disgregados de capas asfálticas de pavimentos en servicio o excedentes de una mezcla asfáltica no utilizada, siempre y cuando estos no hayan sido rechazados a causa de la baja calidad de sus componentes o de la mezcla misma, la preparación de una nueva mezcla asfáltica en caliente mezclando dichos materiales con agregados pétreos de adición y con material bituminosos de adición y, de ser necesario, agentes rejuvenecedores y/o aditivos; el eventual almacenamiento, el transporte, la colocación y la compactación de la nueva mezcla, de acuerdo con los alineamientos, las cotas, las secciones y los espesores indicados en los documentos del proyecto.

La obtención del material por reciclar mediante la disgregación de una parte o de la totalidad de las capas asfálticas de un pavimento existente, según las profundidades de corte señaladas en los documentos del proyecto; la recuperación, el cargue del material disgregado, su transporte y su descargue en el sitio de acopio, se encuentran cubiertos por el artículo 460, Fresado de pavimento asfáltico.

Los tipos de mezclas asfálticas elaboradas mediante el reciclado del pavimento asfáltico en planta y en caliente se denominan de acuerdo con lo mencionado en el artículo 450, Mezclas

asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

462.2 Materiales

462.2.1 Agregados pétreos

Los agregados pétreos para la elaboración de la mezcla reciclada tienen dos (2) procedencias: los agregados pétreos de reciclaje y los agregados pétreos de adición.

La granulometría del agregado obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, incluido el llenante mineral, debe estar comprendida dentro de alguna de las franjas fijadas en la Tabla 450 – 5 del artículo 450.

462.2.1.1 Agregados pétreos de reciclaje

Los agregados obtenidos del material fresado no deben mostrar signos de meteorización y su calidad debe ser similar a la exigida para los agregados de adición. Para la ejecución de los trabajos, que son objeto del presente artículo, no se pueden emplear materiales disgregados provenientes de mezclas abiertas en caliente, de mezclas discontinuas en caliente para capa de rodadura o de mezclas drenantes.

Se pueden emplear los excedentes de fabricación de una mezcla asfáltica en caliente,

como las descritas en el artículo 450, que no se hayan utilizado en la obra por constituir sobrantes o haber sido rechazados por llegar con una temperatura muy baja, pero nunca por la baja calidad de sus componentes o de la mezcla misma.

Por ningún motivo se debe permitir el empleo de agregados pétreos de reciclaje que provengan de una capa asfáltica que hubiera presentado deterioros del tipo afloramientos de asfalto (exudación).

Si se tiene previsto el empleo de agregados pétreos de reciclaje provenientes de capas asfálticas con geosintéticos incluidos, o en cuya elaboración se hubieran utilizado adiciones para modificar la reología del ligante asfáltico o el comportamiento mecánico de la mezcla, tales como caucho, fibras, etc., se debe requerir un estudio ambiental específico, debido a la posibilidad de emisión de contaminantes durante el proceso de elaboración de la nueva mezcla.

El agregado pétreo de reciclaje debe ser homogéneo, no debe contener contaminantes y debe estar caracterizado, y es necesario que se someta a un proceso previo de trituración, eliminación de contaminantes y homogeneización.

En caso que la extracción de la capa asfáltica haya sido por bloques y no por fresado, este material debe ser considerado como «material bituminoso bruto». Este debe ser sometido a un proceso previo de trituración, eliminación de contaminantes y homogeneización para considerarse como agregado pétreo de reciclaje.

462.2.1.1.1 Designación de los agregados pétreos de reciclaje

Se designa a los agregados pétreos de reciclaje a través de la siguiente expresión:

$U - APR - D$ [462.1]

Donde:

U , es la menor abertura del tamiz [en milímetros (mm)] a través del cual pasa el cien por ciento (100 %) de las partículas del agregado pétreo de reciclaje de origen (con material bituminoso de reciclaje adherido), obtenido a partir del ensayo de tamizado según la norma INV E-782 (valor máximo encontrado entre todas las muestras).

APR , abreviación de Agregados Pétreos de Reciclaje.

D , es la abertura del tamiz inmediatamente menor al tamaño máximo absoluto cuando por dicho tamiz pasa el noventa por ciento (90 %) o más de la masa del agregado pétreo de reciclaje a usar en la mezcla, sin material bituminoso de reciclaje (tamaño máximo nominal promedio), obtenido a partir del ensayo de tamizado según la norma INV E-782. Para realizar la separación del material bituminoso de reciclaje de la parte granular se deben seguir los lineamientos de la norma INV E-732.

La frecuencia de ensayo para la designación de los agregados pétreos de reciclaje debe ser la misma que la definida en el numeral 462.2.1.1.2.

Ejemplo: un agregado pétreo de reciclaje cuya $U = 25$ mm y un $D = 9,5$ mm, debe ser designado como: 25 APR 9,5.

462.2.1.1.2 Clasificación del lote de estudio de agregados pétreos de reciclaje

Un lote de estudio corresponde a la cantidad total de agregado pétreo de reciclaje proveniente de un mismo sitio de fresado y almacenado según lo indicado en el numeral 462.4.2.

Se deben someter como mínimo cinco (5) muestras del lote de estudio para cada ensayo exigido con el fin de garantizar una clasificación promedio del material. Si el lote de estudio excede las mil toneladas (1 000 t) el número de muestras debe aumentar en uno (1) cada mil toneladas (1 000 t).

Ejemplo: Un lote de estudio de agregado pétreo de reciclaje cuenta con tres mil quinientas toneladas (3 500 t) de material. Para la clasificación de dicho lote se deben prever las cinco (5) muestras mínimas, más dos (2) muestras complementarias dada la masa del lote, para un total de siete (7) muestras por cada ensayo requerido para su clasificación.

Esta metodología para definir la frecuencia de muestreo para los ensayos, debe ser respetada para la clasificación del lote de estudio en función de:

- Materiales ajenos
- Granulometría
- Contenido de asfalto

462.2.1.1.2.1 Clasificación de los agregados pétreos de reciclaje en función de los materiales ajenos

Para identificar los materiales ajenos en un lote de estudio, las muestras de agregados

pétreos de reciclaje deben tener una masa de al menos veinte kilogramos (20 kg) y deben ser sometidas a un proceso de tamizaje sobre el tamiz de 9,5 mm (3/8 de pulgada). En caso de no contar con el tamiz de 9,5 mm (3/8 de pulgada), se puede realizar el proceso sobre un tamiz de un tamaño inferior, pero con una abertura no menor de 8 mm (5/16 de pulgada).

Durante el proceso de fresado y/o acopio de los materiales de reciclaje se pueden encontrar materiales no bituminosos, los cuales, en adelante, se denominan materiales ajenos. Estos materiales ajenos se pueden clasificar en dos (2) grupos como se expone a continuación:

- Grupo 1: productos en concreto, restos de adoquín, materiales de subcapas (no se tienen en cuenta granulares naturales), mortero y metales.
- Grupo 2: materiales sintéticos, madera y plásticos.

Luego del proceso de tamizaje se deben extraer a mano los materiales ajenos e identificados según el grupo correspondiente. A partir de la masa de los materiales ajenos extraídos con respecto a la masa de la muestra inicial, se obtiene el contenido de materiales ajenos.

Los agregados pétreos de reciclaje, en función del contenido de material ajeno, se clasifican según las indicaciones de la Tabla 462 – 1.

Tabla 462 — 1. Clasificación de agregado pétreo de reciclaje en función del contenido de material ajeno promedio

Clasificación	Contenido de materiales de Grupo 1	Contenido de materiales de Grupo 2
F_1	≤ 1 %	≤ 0,1 %
F_5	≤ 5 %	≤ 0,1 %
F_N	No caracterizado	No caracterizado

Nota 1: si los agregados pétreos de reciclaje son conformes tan solo para uno de los dos grupos, el material se debe clasificar como F_N .

Nota 2: si los agregados pétreos de reciclaje no son conformes para las clases F_1 y F_5 , el material se debe clasificar como F_N .

Nota 3: todo agregado pétreo que se utilice en una estructura de pavimento debe estar clasificado como F_1 .

462.2.1.1.2.2 Clasificación de los agregados pétreos de reciclaje en función de la granulometría

En función de la curva granulométrica promedio y la diferencia entre las curvas granulométricas de las muestras, el agregado pétreo de reciclaje se clasifica de acuerdo con la Tabla 462 — 2.

Tabla 462 — 2. Clasificación de agregado pétreo de reciclaje en función de la granulometría

Clasificación	Pasa tamiz 1,4*D (%)	Pasa tamiz tamaño D (%)		Pasa tamiz de 2,00 mm (nro. 10) (%)	Pasa tamiz de 0,075 mm (nro. 200) (%)
		Límites	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos
G_0	≥ 99 %	Entre 85 % y 99 %	≤ 10 %	≤ 10 %	≤ 3 %
G_1	≥ 99 %	Entre 85 % y 99 %	≤ 10 %	≤ 15 %	≤ 4 %
G_2	≥ 99 %	Entre 85 % y 99 %	≤ 15 %	≤ 20 %	≤ 6 %
G_N	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado

Nota: si los agregados pétreos de reciclaje no son conformes para las clases G_0 , G_1 y G_2 , el material se debe clasificar como G_N .

462.2.1.1.2.3 Clasificación de los agregados pétreos de reciclaje en función de su resistencia

En particular, para la clasificación de los agregados pétreos de reciclaje en función de su resistencia, se debe someter como mínimo una (1) muestra del lote de estudio para cada ensayo exigido, con el fin de garantizar una clasificación. Si el lote de estudio excede las cinco mil toneladas (5 000 t) el número

de muestras debe aumentar en uno (1) cada cinco mil toneladas (5 000 t), obteniendo así una frecuencia de uno (1) cada cinco mil toneladas (5 000 t).

En función de la resistencia promedio al desgaste de los materiales granulares y la angularidad del agregado fino, el agregado pétreo de reciclaje se clasifica de acuerdo con la Tabla 462 – 3.

Tabla 462 – 3. Clasificación de agregado pétreo de reciclaje en función de la resistencia

Clasificación	Desgaste en la máquina de Los Ángeles (%) (LA) INV E-218	Desgaste por abrasión Micro-Deval (%) (MD) INV E-238	LA + MD (%)	Angularidad de la fracción fina (%) INV E-239	Desgaste por pulimiento (CPA) INV E-232
R_1	≤ 25 %	≤ 20 %	≤ 35 %	≤ 35 %	> 45
R_2	Entre 25 % y 30 %	Entre 20 % y 25 %	Entre 35 % y 45 %	≤ 35 %	No caracterizado
R_N	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado	No caracterizado

Nota: si los agregados pétreos de reciclaje no son conformes para las clases R_1 y R_2 , el material se debe clasificar como R_N .

462.2.1.1.2.4 Clasificación de los agregados pétreos de reciclaje en función de su contenido de asfalto

Para realizar la clasificación del agregado pétreo de reciclaje en función de su contenido de asfalto, se debe separar el ligante del

material granular, de acuerdo con las indicaciones de las normas INV E-732 e INV E-759.

El agregado pétreo de reciclaje se clasifica en función de su contenido de asfalto (norma INV E-732), según la Tabla 462 – 4.

Tabla 462 – 4. Clasificación del material bituminoso de reciclaje en función de su contenido de asfalto

Clasificación	Contenido de asfalto (%) INV E-732
	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos
CA_0	≤ 0,75 %
CA_1	≤ 1 %
CA_2	≤ 2 %
CA_N	No caracterizado o > 2 %

462.2.1.2 Agregados pétreos de adición

El agregado pétreo de adición, incluyendo el llenante mineral, debe cumplir los requisitos para las propiedades de origen (O) y las propiedades de fabricación (F) del numeral 450.2.1 del artículo 450.

Es recomendable que el agregado de adición tenga características mineralógicas similares a las del agregado pétreo de reciclaje, con el fin de evitar que el ligante tenga diferente adhesividad con cada uno de los componentes.

462.2.2 Material bituminoso

El material bituminoso para la elaboración de la mezcla reciclada tiene dos (2) componentes: el material bituminoso de reciclaje y el material bituminoso de adición.

Una mezcla reciclada puede tener tres (3) estados de mezcla entre el material bituminoso de reciclaje y el material bituminoso de adición:

- Mezcla perfecta
- Mezcla parcial
- No mezclados (*black rock*)

Todo material bituminoso de la mezcla debe presentar un estado de mezcla perfecta o parcial.

462.2.2.1 Material bituminoso de reciclaje

El material bituminoso proveniente del agregado pétreo de reciclaje o del excedente de una mezcla nueva debe ser susceptible de mezclar, de manera homogénea, con el material bituminoso de adición.

Se permite la utilización de agentes rejuvenecedores y/o aditivos, y su uso depende de las propiedades y la reología del material bituminoso de reciclaje, las condiciones del proyecto, el lugar y la ejecución del trabajo.

Para cada ensayo exigido, se deben obtener como mínimo cinco (5) muestras del lote de estudio con el fin de garantizar una clasificación promedio del material. Si el lote de estudio excede las mil toneladas (1 000 t) el número de muestras debe aumentar en uno (1) cada mil toneladas (1 000 t).

462.2.2.1.1 Clasificación según características residuales del material bituminoso de reciclaje

Para clasificar el material bituminoso de reciclaje se debe separar el ligante del material granular, para esto se deben seguir las indicaciones de las normas INV E-732 e INV E-759.

El material bituminoso de reciclaje se debe clasificar en función de los resultados de los ensayos de penetración y punto de ablandamiento (normas INV E-706 e INV E-712), según la Tabla 462—5.

Tabla 462 — 5. Clasificación del material bituminoso de reciclaje en función de su penetración y punto de ablandamiento

Clasificación	Penetración (0,1 mm) INV E-706			Punto de ablandamiento (°C) INV E-712		
	Mínima	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos	Valor promedio	Máxima	Diferencia entre valor máximo y mínimo entre ensayos	Valor promedio
B_0	10	≥ 10	≥ 10	77	≤ 8	≤ 75
B_1	5	10 – 15	-	77	≤ 8	No caracterizado
B_2	5	≥ 15	-	77	≥ 8	No caracterizado
B_N	No caracterizado			No caracterizado		

Nota 1: si los agregados pétreos de reciclaje no son conformes para las clases B_0 , B_1 y B_2 , el material se debe clasificar como B_N .

Nota 2: en caso que el material bituminoso de reciclaje se clasifique como B_N por causa del no cumplimiento de la penetración mínima y/o el punto de ablandamiento máximo, se recomienda el uso de agentes rejuvenecedores y/o aditivos (ver numeral 462.2.3).

462.2.2.2 Material bituminoso de adición

El material bituminoso de adición debe ser cemento asfáltico, del grado de penetración que sea indicado en los documentos del proyecto.

El material bituminoso de adición se debe escoger en función de:

- La reología
- La tasa de agregado pétreo de reciclaje a incorporar
- Las condiciones meteorológicas del sitio de los trabajos (ver numeral 462.4.6.4)
- La velocidad de operación a la cual debe ser sometida la mezcla bituminosa
- Las condiciones del sitio de ejecución de los trabajos

El material bituminoso de adición puede corresponder a uno de los tipos indicados en el artículo 410, o al que establezca la especificación particular del proyecto.

El material bituminoso de adición puede ser modificado con polímeros. En caso de adición de polímeros se deben cumplir las indicaciones del artículo 414.

462.2.3 Agente rejuvenecedor para reciclado

En caso de uso de agentes rejuvenecedores, se deben cumplir los requisitos de la norma de ensayo INV E-812. El agente rejuvenecedor para reciclado debe ser un material orgánico, cuyas características químicas y físicas permitan devolverle al asfalto envejecido las condiciones

necesarias para el buen comportamiento de la nueva mezcla, según lo contemplen las especificaciones particulares del proyecto. La dosificación y la dispersión homogénea del agente rejuvenecedor para reciclado deben seguir las recomendaciones establecidas en la ficha técnica suministrada por su fabricante y deben ser aprobadas por el interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce ningún efecto nocivo a los componentes de la mezcla (agregados pétreos de adición y de reciclaje, y material bituminoso de adición y reciclaje). Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento que se derive del empleo de agentes rejuvenecedores, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), de acuerdo con las instrucciones del interventor.

462.2.4 Aditivos mejoradores de adherencia

En caso de uso de aditivos, se deben cumplir los requisitos del artículo 412. La dosificación y la dispersión homogénea de los aditivos deben seguir las recomendaciones establecidas en la ficha técnica suministrada por su fabricante y deben ser aprobadas por el interventor.

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce ningún efecto nocivo a los componentes de la mezcla (agregados pétreos de adición y de reciclaje, y material bituminoso de adición y reciclaje). Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento que se derive del empleo del aditivo, es

de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor.

462.2.5 Polímeros

En caso de uso de polímeros, se deben cumplir los requisitos del artículo 414. La dosificación y la dispersión homogénea de los polímeros deben seguir las recomendaciones establecidas en la ficha técnica suministrada por su fabricante y deben ser aprobadas por el interventor. Se recomienda que el control exigido de recuperación elástica por tensión a veinticinco grados Celsius (25 °C) según la norma UNE 13398, sea superior a cincuenta por ciento (50 %).

El constructor debe garantizar que su incorporación no produce ningún efecto nocivo a los componentes de la mezcla (agregados pétreos de adición y de reciclaje, y material bituminoso de adición y reciclaje). Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento que se derive del empleo del polímero, es de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, sin costo adicional para INVÍAS, de acuerdo con las instrucciones del interventor.

462.3 Equipo

Al respecto, es aplicable lo que resulte pertinente de lo indicado en el numeral 400.3 del artículo 400.

El equipo requerido para el reciclado de pavimentos asfálticos en planta y en caliente es,

en esencia, el mismo que se emplea para las mezclas asfálticas en caliente, pero adaptado para la introducción de agregados pétreos de reciclaje. En la Tabla 462 — 11 se recomiendan los distintos métodos de introducción de agregados pétreos de reciclaje en función de la tasa de reciclado a usar en la mezcla. El equipo debe garantizar que los materiales hidrocarbonados no puedan tener contacto directo con la flama del tambor secador.

462.4 Ejecución de los trabajos

462.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados pétreos de adición

Los agregados pétreos de adición que se requieran, para la elaboración de la mezcla reciclada, deben ser explotados y procesados conforme como se describe en el numeral 105.13.3 del artículo 105, desarrollo de los trabajos.

462.4.2 Acopio del material bituminoso bruto

En caso que la extracción de la capa asfáltica haya sido por bloques y no por fresado, este material debe ser considerado como «material bituminoso bruto» y no como agregado pétreo de reciclaje, por lo tanto no puede ser incorporado en la mezcla asfáltica sin el debido tratamiento, conforme lo establecido en el numeral 462.4.4.

Este debe tener las mismas condiciones de acopio que los agregados pétreos de reciclado según las indicaciones del numeral 462.4.3.

462.4.3 Acopio de los agregados pétreos de reciclaje

Los agregados pétreos de reciclaje pueden provenir de la misma obra o encontrarse almacenados por haber sido extraídos en otro lugar. El tiempo de almacenamiento se debe reducir al mínimo posible para evitar que absorban una cantidad de agua excesiva de la atmósfera.

Las condiciones mínimas del lugar de acopio de los agregados pétreos de reciclaje que se deben cumplir son:

- Lugar alejado de cualquier tipo de polución.
- Suelo del almacenamiento preferiblemente pavimentado, en caso contrario no se pueden utilizar los quince centímetros (15 cm) inferiores como material para reciclado.
- Las pilas de material no deben tener espesores inferiores a un metro (1 m).
- En las regiones donde la temperatura ambiente exceda de treinta grados Celsius (30 °C), los acopios de agregado pétreo de reciclaje no pueden tener una altura mayor de tres metros (3 m) para evitar su aglomeración.
- Cada lote (conjunto de pilas con un mismo origen) debe estar identificado con su ficha técnica que indique la designación y la clasificación dada según los numerales 462.2.1.1.1 y 462.2.1.1.2.
- Las pilas deben tener una separación de tres metros (3 m) entre ellas.

Adicionalmente se recomienda:

- Acopio techado que cubra la totalidad del agregado almacenado.
- Zona con óptimas condiciones de drenaje.

462.4.4 Tratamiento del material bituminoso bruto y de los agregados pétreos de reciclaje (trituración o molienda)

Es necesario triturar todos los bloques del material bituminoso bruto para ser considerado como agregado pétreo de reciclaje.

De ser necesario, los agregados pétreos de reciclaje obtenidos por fresado pueden ser triturados; el objetivo del proceso de trituración es la homogeneización del agregado pétreo de reciclaje para obtener la mezcla reciclada deseada según las condiciones dadas en el numeral 462.4.6.1.

Finalmente, el material agregado pétreo de reciclaje debe ser mezclado hasta obtener un material granular homogéneo y sin segregaciones.

462.4.5 Porcentajes máximos permitidos en masa de agregados pétreos de reciclaje

El agregado pétreo de reciclaje no debe constituir más del cuarenta por ciento (40 %) de la masa total de la mezcla.

Todo agregado pétreo que se utilice en una estructura de pavimento debe estar clasificado como F_1 , según los materiales ajenos encontrados (Tabla 462 — 1). La Tabla 462 — 6 para capa de rodadura y la Tabla 462 — 7 para capa intermedia/base, presentan los porcentajes de agregados pétreos incorporables, en función de la clasificación de los agregados pétreos obtenida en el numeral 462.2.1.1.2 y 462.2.2.1.

Tabla 462 — 6. Porcentajes máximos permitidos en masa de agregados pétreos de reciclaje para mezclas en capa de rodadura

Porcentajes máximos permitidos en masa de agregados pétreos de reciclaje			10 %	20 %	30 %	40 %
Características de los componentes de los agregados pétreos para capa de rodadura	Contenido de asfalto		CA_2		CA_1	CA_0
	Ligante	Características residuales del ligante	B_N	B_1		B_0
	Granulares	Granulometría	G_N	G_2	G_1	G_0
		Resistencia	R_N	R_1		R_1

Tabla 462 — 7. Porcentajes máximos permitidos en masa de agregados pétreos de reciclaje para mezclas en capa intermedia/base

Porcentajes máximos permitidos en masa de agregados pétreos de reciclaje			10 %	20 %	30 %	40 %
Características de los componentes de los agregados pétreos para capa Intermedia/Base	Contenido de asfalto		CA_N	CA_2	CA_1	CA_0
	Ligante	Características residuales del ligante	B_N	B_2		B_0
	Granulares	Granulometría	G_N	G_2	G_1	G_0
		Resistencia	R_N	R_N		R_2 (Nota 1)

Nota 1: para un nivel de tránsito NT1 es posible usar la Tabla 462 – 7 para capa de rodadura.

Nota 2: para usar porcentajes diferentes a los máximos permitidos por el artículo 462 se debe hacer una especificación particular que establezca:

- Valores máximos y mínimos tolerables de las propiedades de la mezcla bituminosa para los distintos ensayos de verificación de los parámetros del comportamiento de las mezclas asfálticas recicladas descrito en el numeral 462.4.8
- El cumplimiento de los valores máximos y mínimos tolerables de las propiedades de la mezcla bituminosa convenidos para los distintos ensayos de verificación de los parámetros de comportamiento de las mezclas asfálticas recicladas descrito en el numeral 462.4.8.
- El cumplimiento de las indicaciones del numeral 450.4.2 del artículo 450.
- Un protocolo de auscultación de los tramos experimentales con un periodo de evaluación de, al menos, seis (6) años.

462.4.6 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo en laboratorio

Al respecto, rige todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.2 del artículo 400.

El diseño de una mezcla reciclada en caliente tiene como eje fundamental el equilibrio entre las proporciones de:

- Agregados pétreos de adición y agregados pétreos de reciclaje.
- Material bituminoso de adición y material bituminoso de reciclaje.

En caso de utilización de agentes rejuvenecedores y/o aditivos se deben seguir las

indicaciones de los numerales 462.2.3 y 462.2.4 respectivamente.

En caso de adición de polímeros se deben cumplir las indicaciones del numeral 462.2.5.

La fórmula de trabajo deber ser definida con los siguientes parámetros:

- Recomposición de la curva granulométrica de la mezcla.
- Determinación del contenido total de asfalto de la mezcla.
- T_{ME} , punto de ablandamiento estimado del material bituminoso de la mezcla.
- pen_{ME} , penetración estimada del material bituminoso de la mezcla.
- T_{FM} , temperatura de fabricación de la mezcla.

- f. T_{MBA} , temperatura de calentamiento de material bituminoso de adición.
- g. T_G , temperatura de calentamiento de agregados pétreos de adición.
- h. T_{APR} , temperatura de calentamiento de agregados pétreos de reciclaje.

Se deben reportar los parámetros de la mezcla óptima.

462.4.6.1 Recomposición de la curva granulométrica de mezcla

El diseñador debe escoger el tipo de mezcla deseada. La curva granulométrica de diseño debe seguir las especificaciones según la Tabla 450 — 5 del artículo 450.

El tamaño nominal del agregado pétreo de reciclaje (D) debe ser siempre inferior o igual al tamaño nominal de la mezcla de diseño (D_{ME}).

$$D \leq D_{ME} \quad [462.2]$$

La curva granulométrica de los agregados pétreos de reciclaje debe ser comparada con los límites superiores e inferiores de la curva granulométrica de la mezcla deseada. Sobre dicha base, se debe realizar una recomposición de la curva granulométrica de agregado pétreo de reciclaje, adicionando masas de distintas fracciones de los agregados pétreos de adición, hasta obtener la curva granulométrica de diseño.

462.4.6.2 Determinación del contenido de asfalto total de la mezcla

El contenido de asfalto total de la mezcla debe ser definido de la siguiente manera:

$$\% CA_{ME} = \% MBA + \% MBR \quad [462.3]$$

Donde:

$\% CA_{ME}$, porcentaje en masa del contenido de asfalto total de la mezcla asfáltica.

$\% MBA$, porcentaje en masa del material bituminoso de adición con respecto a la mezcla.

$\% MBR$, porcentaje en masa del material bituminoso de reciclaje con respecto a la mezcla.

Ejemplo: Para fabricar una mezcla asfáltica con:

- 5 000 g de masa total de la mezcla.
- $\% CA_{ME} = 5,2 \%$ (260 g con respecto a la masa total de mezcla).
- contenido de agregados pétreos de reciclaje de 40 % en masa (2000 g con respecto a la masa total de mezcla) y cuyo contenido de asfaltos es de 4,0 %.

Se obtiene:

- $\% MBA = 3,6 \%$ (180 g con respecto a la masa total de mezcla)
- $\% MBR = 1,6 \%$ (80 g con respecto a la masa total de mezcla).

Para determinar el contenido de asfalto, se recomienda realizar un diseño preliminar de la mezcla asfáltica en caliente de gradación continua por el método Marshall (INV-E 748), variando el porcentaje en masa del contenido de asfalto total de la mezcla asfáltica, hasta encontrar el óptimo requerido. En caso que se use este método de ensayo, el diseño preliminar debe cumplir con los criterios de la Tabla 450 — 9 del artículo 450.

Se aceptan estimaciones del contenido de asfalto a partir de normas internacionales, siempre y cuando la verificación de los parámetros de comportamiento de las mezclas

asfálticas recicladas (numeral 462.4.5.2) esté conforme a los criterios de calidad para los que se fabrica la mezcla asfáltica.

462.4.6.3 Estimación del punto de ablandamiento

Se debe presentar una estimación del punto de ablandamiento del material bituminoso de la mezcla.

Esta estimación se realiza usando los resultados de los ensayos del punto de ablandamiento y penetración del material bituminoso de adición y de reciclaje, mediante las ecuaciones presentadas a continuación:

- Estimación del punto de ablandamiento del material bituminoso de la mezcla:

$$T_{ME} = a * T_A + b * T_B \quad [462.4]$$

Donde:

T_{ME} , punto de ablandamiento estimado del material bituminoso de la mezcla en grados Celsius (°C).

a , fracción en masa del material bituminoso de adición.

b , fracción en masa del material bituminoso de reciclaje.

T_A , punto de ablandamiento del material bituminoso de adición medido experimentalmente en grados Celsius (°C) (norma INV E-712).

T_B , punto de ablandamiento del material bituminoso de reciclaje medido experimentalmente en grados Celsius (°C) (norma INV E-712).

Para realizar el ensayo del punto de ablandamiento y penetración sobre el material bituminoso de reciclaje, se debe separar la parte granular del material bituminoso reciclado, siguiendo las normas de los ensayos de extracción cuantitativa del asfalto en mezclas en caliente para pavimentos (norma INV E-732) y de recuperación de asfalto de una solución utilizando el rotavapor (norma INV E-759).

462.4.6.4 Penetración del material bituminoso de la mezcla

Se debe presentar una estimación de la penetración del material bituminoso de la mezcla.

- Estimación de la penetración de material bituminoso de la mezcla:

$$\log(\text{pen}_{ME}) = a \log(\text{pen}_A) + b \log(\text{pen}_B) \quad [462.5]$$

Donde:

pen_{ME} , penetración estimada del material bituminoso de la mezcla en cero coma un milímetro (0,1 mm).

a , fracción en masa del material bituminoso de adición.

b , fracción en masa del material bituminoso de reciclaje.

pen_A , penetración del material bituminoso de adición medido experimentalmente en cero coma un milímetro (0,1 mm) (norma INV E-724).

pen_B , penetración del material bituminoso de reciclaje medido experimentalmente en cero coma un milímetro (0,1 mm) (norma INV E-724).

Se recomienda que la penetración estimada del material bituminoso de la mezcla (pen_{ME}) resultante, corresponda con la penetración del ligante recomendado para la temperatura media anual de la región (°C) y el tránsito del proyecto según lo mencionado en la Tabla 450 – 7 del artículo 450.

En caso de que se requieran agentes rejuvenecedores y/o aditivos, la penetración del material bituminoso de la mezcla deber ser corregida según los efectos del agente y/o aditivo.

En caso de incorporación de polímeros, la penetración del material bituminoso de adición medida experimentalmente debe ser corregida según los efectos del polímero utilizado.

462.4.6.5 Temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica

La temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica (T_{FM}), se escoge en función de la estimación de la penetración del material bituminoso de la mezcla, según lo descrito en el numeral 462.4.6.4, como se indica en la Tabla 462 – 8.

Tabla 462 – 8. Temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica según grado de penetración estimado

Penetración estimada del material bituminoso de la mezcla (pen_{ME})	T_{FM} (°C)
20/30	220
30/35	195
35/50	190
50/70	180
70/100	180
100/150	170

Nota: dado que se utiliza la estimación a partir de la ecuación 462.5, las penetraciones estimadas pueden tener intervalos de penetración diferentes a las dadas por el artículo 410.

La temperatura de fabricación se debe medir a la salida del mezclador.

Las mezclas que usen rejuvenecedores y/o aditivos deben seguir las temperaturas declaradas en la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en los numerales 462.2.3 y 462.2.4.

Las mezclas que usen polímeros deben seguir las temperaturas declaradas en la ficha técnica

suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en el numeral 462.2.5.

462.4.6.6 Temperaturas de calentamiento de material bituminoso de adición

En condición de laboratorio, para tomar la masa necesaria del material bituminoso de adición para la fabricación, se debe precalentar a una temperatura de ciento diez más o

menos cinco grados Celsius ($110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) y recuperar la masa necesaria, cuando la viscosidad del material permita verterla en otro recipiente.

La masa recuperada del material bituminoso de adición debe ser sometida a la tempera-

tura de calentamiento (T_{MBA}), la cual se escoge en función de la penetración del material bituminoso de adición medido experimentalmente (norma INV E-724), como se indica en la Tabla 462 — 9.

Tabla 462 — 9. Temperaturas de calentamiento de material bituminoso de adición según el grado de penetración del material bituminoso de adición

Penetración del material bituminoso de adición (pen_A)	T_{MBA} ($^{\circ}\text{C}$)
10/20 – 20/30	220
30/35	195
35/50	190
50/70	180
70/100	180
100/150	170

Nota 1: los materiales bituminosos de adición (asfaltos puros) que presenten penetraciones de 10/20, 20/30, 30/35 y 100/150 deben ser objeto de una especificación particular según lo indicado en el numeral 410.2.2 del artículo 410.

Nota 2: las mezclas que usen polímeros deben seguir las temperaturas declaradas en la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en el numeral 462.2.5.

El material bituminoso de adición que se utilice en la fabricación debe ser dispuesto a la $T_{MBA} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante cuatro horas (4 h) mínimo y cinco horas (5 h) máximo, antes del mezclado con los otros componentes.

462.4.6.7 Temperatura de los agregados pétreos de adición

Los agregados pétreos de adición deben ser sometidos a un premezclado a mano, de cada fracción granular por separado, para homogeneizarlos. Se debe realizar un presecado a ciento diez más o menos cinco grados Celsius ($110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) durante, al menos, veinticuatro horas (24 h).

A partir de la calibración de la curva granulométrica de la mezcla, se debe realizar el pesado de cada fracción de agregados pétreos de adición, con una precisión de, más o menos, cero coma uno por ciento ($\pm 0,1\%$) en masa. La temperatura de los agregados pétreos de adición es limitada a $T_G = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los agregados pétreos de adición se deben calentar a la $T_G \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por lo menos ocho horas (8 h) antes del mezclado con los otros componentes.

462.4.6.8 Temperatura de los agregados pétreos de reciclaje

Los agregados pétreos de reciclaje deben ser sometidos a un premezclado a mano, a

temperatura ambiente para homogeneizarlos. Luego, se debe realizar un presecado a cincuenta más o menos cinco grados Celsius ($50\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$) durante, al menos, doce horas (12 h).

A partir de la calibración de la curva granulométrica de la mezcla, se debe realizar el pesado de la masa necesaria de agregados pétreos de reciclaje, con una precisión de, más o menos, cero coma uno por ciento ($\pm 0,1\%$). La temperatura de calentamiento de los agregados pétreos de reciclaje es limitada a $T_{APR} = 110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Los agregados pétreos se deben calentar a la $T_{APR} \pm 5\text{ °C}$ durante dos coma cinco más o menos cero coma cinco horas ($2,5\text{ h} \pm 0,5\text{ h}$) antes del mezclado con los otros componentes. Los agregados pétreos de reciclaje deben ser calentados en capas entre cuatro y seis centímetros (4 cm — 6 cm) de espesor para garantizar el calentamiento homogéneo.

462.4.7 Mezclado de componentes en laboratorio

Las mezclas que usen rejuvenecedores y/o aditivos deben seguir los procedimientos de mezclado declarados en la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en el numeral 462.2.4.

Las mezclas que usen polímeros deben seguir los procedimientos de mezclado declarados en la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en el numeral 462.2.5.

462.4.7.1 Precalentado

El mezclador debe tener una temperatura interna igual a la temperatura de fabricación

$T_{FM} \pm 5\text{ °C}$, durante al menos dos horas (2 h) antes del mezclado de los componentes de la mezcla.

462.4.7.2 Introducción de agregados pétreos de adición

Las fracciones de agregados pétreos de adición se deben introducir en orden decreciente, con respecto a los diámetros de partículas.

Ejemplo: para una mezcla de diseño estándar, se debe introducir, en primer lugar las gravas, en segundo lugar las arenas y por último el llenante mineral.

462.4.7.3 Introducción de agregados pétreos de reciclaje

Luego de agregar al mezclador los agregados pétreos de adición, se deben introducir los agregados pétreos de reciclaje. Una vez los agregados pétreos de reciclaje sean introducidos en el mezclador, no se debe postergar el proceso de mezclado.

462.4.7.4 Mezclado en seco

Inmediatamente se debe realizar un mezclado en seco. El mezclado en seco debe tener una duración de treinta más o menos cinco segundos ($30\text{ s} \pm 5\text{ s}$) como mínimo. El mezclado en seco puede tener una duración de noventa más o menos cinco segundos ($90\text{ s} \pm 5\text{ s}$) como máximo.

Una vez terminado el mezclado en seco, se debe esperar durante, al menos, veinte segundos (20 s) para garantizar el depósito de finos dentro del mezclador.

Las mezclas que usen rejuvenecedores y/o aditivos deben seguir los tiempos según la

ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en los numerales 462.2.3 y 462.2.4.

Las mezclas que usen polímeros deben seguir los tiempos según la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en el numeral 462.2.5.

462.4.7.5 Introducción del material bituminoso de adición

Se debe introducir la cantidad en masa, de material bituminoso de adición, necesaria para alcanzar el contenido de asfalto total, de la mezcla, previsto (ver numeral 462.4.6.2). La masa del material bituminoso de adición introducido se debe medir con una precisión del uno por ciento (1 %).

462.4.7.6 Mezclado de componentes

El mezclado de los componentes se debe realizar durante ciento ochenta más o menos cinco segundos ($180 \text{ s} \pm 5 \text{ s}$). Una vez terminado este proceso, se debe medir la temperatura de la mezcla. El tiempo máximo para la recuperación de la mezcla asfáltica fabricada es de una hora (1 h).

Las mezclas que usen rejuvenecedores y/o aditivos deben seguir los tiempos según la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en los numerales 462.2.3 y 462.2.4.

Las mezclas que usen polímeros deben seguir los tiempos según la ficha técnica suministrada por el fabricante y cumplir lo estipulado en el numeral 462.2.5.

462.4.8 Verificación de los parámetros de comportamiento de mezclas con reciclado

Las mezclas asfálticas con contenido en masa de agregado pétreo de reciclaje inferiores o iguales a diez por ciento (10 %) en capa de rodadura y veinte por ciento (20 %) en capa intermedia/base, deben cumplir, tan solo, las indicaciones de la Tabla 450 — 10 del artículo 450.

Las mezclas asfálticas con contenido en masa de agregado pétreo de reciclaje superiores a diez por ciento (10 %) en capa de rodadura y veinte por ciento (20 %) en capa intermedia/base, deben cumplir, tanto las indicaciones de la Tabla 462 — 10 (para toda mezcla asfáltica), como las solicitadas en la Tabla 450 — 10 del artículo 450 (según el tipo de mezcla).

La verificación de los parámetros del comportamiento de las mezclas asfálticas con reciclado, se designa teniendo en cuenta cuatro niveles de comportamiento:

- Nivel 1: Compactación + sensibilidad al agua.
- Nivel 2: Nivel 1 + Ahuellamiento: Resistencia al ahuellamiento y/o Resistencia a la deformación plástica.
- Nivel 3: Nivel 2 + Módulos de rigidez: Módulo complejo.
- Nivel 4: Nivel 3 + Fatiga: Leyes de fatiga.

El constructor debe reportar el nivel de comportamiento de cada mezcla asfáltica del proyecto.

Las probetas se deben elaborar con la mezcla definida como óptima, con las mismas

condiciones de compactación. Se recomienda que para los niveles de exigencia 2, 3 y 4, las probetas a utilizar en los ensayos de verificación de mezclas asfálticas con reciclado, sean extraídas de placas compactadas. Se permite la elaboración de probetas con compactador de placa según lo estipulado por

la norma UNE-EN 12697-33. Se da la posibilidad fabricar placas compactadas usando otros métodos alternos de compactación, siempre que representen las condiciones reales de la mezcla según las condiciones del lugar de ejecución del trabajo.

Tabla 462 – 10. Verificación los parámetros de comportamiento de mezclas asfálticas recicladas

Propiedad	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor recomendado (Nota 5)	Aplicabilidad
Compactación y sensibilidad al agua						
Compactación	UNE-EN 12697-31	Gráfico promedio de porcentaje de vacíos en función de giros	Temperatura de fabricación de la mezcla. (T_{FM}).	%	Reportar	Todos los tipos de mezclas
Susceptibilidad al agua	INV E-725	Resistencia retenida	25°C, condición seca y húmeda	%	≥ 80	Todos los tipos de mezclas
Ahuellamiento (Nota 1)						
Resistencia al ahuellamiento	UNE-EN 12697-22	Profundidad promedio del ahuellamiento	60 °C – 30 000 ciclos	%	≤ 10	Todos los tipos de mezclas
Módulos de rigidez						
Módulo complejo	UNE-EN 12697-26 (Anexo D: tracción/compresión directa)	Valor absoluto del módulo complejo $ E^* $	20 °C, 10 Hz	MPa	≥ 6 000	Todos los tipos de mezclas para capas de base
				MPa	≥ 3 500	Todos los tipos de mezclas para capas de rodadura e intermedia
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	MPa	Reportar (Nota 2)	Todos los tipos de mezclas

Propiedad	Norma de ensayo	Criterio	Condiciones recomendadas del ensayo	Unidades	Valor recomendado (Nota 5)	Aplicabilidad
Fatiga						
Leyes de fatiga	INV E-808 INV E-784 UNE EN 12697-24	Deformación a un millón de ciclos ϵ_6	20 °C, frecuencia entre 10 Hz y 20 Hz	μm	≥ 80	Capas de base
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	μm	≥ 100	Capas de rodadura e intermedia
		Pendiente -1/b de la recta de fatiga	20 °C, frecuencia entre 10 Hz y 20 Hz	-	Reportar (Nota 2)	Todos los tipos de mezclas
			Temperatura y frecuencia según la Nota 3 y la Nota 4	-	Reportar (Nota 2)	Todos los tipos de mezclas

Nota 1: para el control de ahuellamiento se puede emplear el método de ensayo resistencia a la deformación plástica de acuerdo con la norma INV E-756 según lo exigido en el artículo 450.

Nota 2: los documentos del proyecto deben establecer los valores mínimos que se deben cumplir.

Nota 3: la temperatura de ejecución del ensayo debe estar en función de la temperatura promedio del lugar de ejecución del trabajo.

Nota 4: la frecuencia de ejecución del ensayo debe estar en función de la velocidad de operación promedio del lugar de ejecución del trabajo.

Nota 5: las mezclas de tipo MAM y sometidas a tráficos NT3, deben cumplir todo lo estipulado en la Tabla 462 — 10 y la Tabla 450 — 10 del artículo 450.

Toda verificación de parámetros del comportamiento de mezclas asfálticas con reciclado, es válida por una duración de dos (2) años. Si el origen de los componentes (lote de estudio de agregados pétreos de reciclaje, agregados pétreos de adición, bitumen de adición y/o aditivos) y el proceso de fabricación no son variados, los resultados de una verificación de los parámetros de comportamiento de una mezcla asfáltica reciclada son válidos durante cinco (5) años.

462.4.9 Trabajos

462.4.9.1 Fresado

Los trabajos de fresado se deben realizar conforme al artículo 460.

462.4.9.2 Preparación de la superficie existente

La mezcla reciclada en planta y en caliente, se puede colocar en el mismo tramo de vía

donde se extrajeron los agregados pétreos de reciclaje o en uno diferente, según lo contemplen los documentos del proyecto.

Cualquiera sea el caso, la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla reciclada debe tener la densidad apropiada y las cotas y las secciones indicadas en los documentos del proyecto.

Cuando la mezcla se vaya a colocar en la misma vía de la cual se extrajeron los agregados pétreos de reciclaje, se deben efectuar los bacheos previos en las zonas que determine el interventor. Las excavaciones correspondientes se deben realizar según se indica en el artículo 465 y se deben rellenar, de acuerdo con la profundidad, los materiales y las mezclas apropiados, conforme se indica en los artículos correspondientes de las presentes especificaciones o en las especificaciones particulares de los documentos del proyecto.

En caso de que la mezcla reciclada se vaya a colocar directamente sobre la base granular del mismo pavimento del cual se extrajeron los materiales por reciclar, la base debe ser recompactada hasta obtener una densidad igual o superior al cien por ciento (100 %) de la máxima obtenida en el ensayo modificado de compactación (norma INV E-142), y conformada de manera que satisfaga las secciones transversales del proyecto.

Cuando la mezcla se vaya a colocar como parte de la construcción de un pavimento nuevo, ella no se puede extender hasta que se compruebe que, la capa sobre la cual se va a apoyar tenga la densidad apropiada y su superficie tenga las cotas indicadas en los documentos del proyecto. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias

establecidas en la especificación respectiva deben ser corregidas previamente, de acuerdo con lo establecido en ella.

Si la extensión de la mezcla requiere riegos previos de imprimación o de liga, ellos se deben realizar conforme lo establecen los artículos 420 y 421, respectivamente. Antes de aplicar la mezcla, se debe verificar que haya ocurrido el curado del riego previo de liga o imprimación y no deben quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se debe comprobar que su capacidad de liga con la mezcla no se haya disminuido en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el constructor debe efectuar un riego adicional, en la cuantía que fije el interventor. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor, el nuevo riego lo debe realizar sin costo alguno para INVÍAS.

462.4.9.3 Fase de experimentación

Rige lo descrito en el numeral 400.4.3 del artículo 400.

462.4.9.4 Aprovechamiento de los agregados pétreos nuevos

Para el aprovechamiento de los agregados nuevos, se debe aplicar lo descrito en el numeral 450.4.5 del artículo 450.

462.4.10 Fabricación en planta

462.4.10.1 Planta asfaltadora y manejo de componentes

Las plantas asfaltadoras pueden ser continuas o discontinuas.

La planta asfáltica debe tener el diseño apropiado para el reciclado de pavimentos en caliente o debe tener las modificaciones técnicas necesarias para permitir la elaboración de estas mezclas, de manera que los componentes de la mezcla (agregados pétreos de adición y de reciclaje, y material bituminoso de adición y reciclaje) no se vean sobrecalentados, ni sufran deterioro.

Los materiales hidrocarbonados no pueden tener contacto directo con la flama del tambor secador. Por esta razón, los agregados pétreos de reciclaje deben ser introducidos bajo el uso de diferentes técnicas. En función del porcentaje de agregado pétreo de reciclaje se recomiendan las técnicas indicadas en la Tabla 462 – 11.

Tabla 462 – 11. Porcentajes en masa de agregados pétreos de reciclaje recomendados según técnicas de introducción de agregados pétreos de reciclaje

Tipo de instalación	Agregados pétreos introducidos (%)	Técnicas
Continua	0 – 20	Tambor secador de corriente paralela Tambor secador con mezclador separado
	20 – 40	Tambor secador de tubos concéntricos Tambor secador con anillo de reciclaje a favor de corriente Doble tambor con mezclador continuo
Discontinua	0 – 20	Tambor secador y torre discontinua con un punto de depósito en mezclador
	20 – 40	Tambor secador y torre discontinua con dos puntos de depósito en mezclador Doble tambor con torre discontinua

La temperatura del tambor debe ser fijada según el tipo de flama y tipo de instalación. El tambor secador debe garantizar una temperatura de secado de los agregados pétreos de adición que permita evacuar totalmente su humedad.

La polución provocada al nivel del tambor se debe extraer y llevar al colector de polvo para recuperar las partículas finas sueltas.

La temperatura de fabricación de la muestra debe ser registrada a la salida del mezclador.

Se deben rechazar todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma o las que presenten indicios de humedad o contaminación por combustible. En este último caso, se deben retirar los agregados de las tolvas en caliente, si se está empleando una planta de tipo discontinuo. También se deben rechazar aquellas mezclas en las cuales la envuelta no sea perfecta.

462.4.11 Transporte de la mezcla

En relación con el transporte de la mezcla desde la planta hasta el sitio de las obras, rige

lo descrito en el numeral 450.4.7 del artículo 450, para el transporte de las mezclas asfálticas en caliente de gradación continua.

Entre la central y la obra, los itinerarios adoptados para los camiones deben estar sumidos bajo vigilancia del interventor. El constructor es responsable de las degradaciones provocadas en las vías públicas, inmuebles o cualquier propiedad privada. Igualmente es responsable del aseo durante y después de los trabajos.

En caso de sobre carga, el interventor puede rechazar el material.

462.4.12 Transferencia de la mezcla

Si se dispone del equipo de transferencia (*shuttle buggy*), se debe aplicar lo descrito en el numeral 450.4.8 del artículo 450.

462.4.13 Extensión de la mezcla

Se debe aplicar lo descrito en el numeral 450.4.9 del artículo 450.

462.4.14 Compactación de la mezcla

Resultan aplicables todas las instrucciones del numeral 450.4.10 del artículo 450.

462.4.15 Juntas de trabajo

Rige todo lo descrito en el numeral 450.4.11 del artículo 450.

462.4.16 Pavimento sobre puentes y viaductos

Se deben seguir las instrucciones del numeral 450.4.12 del artículo 450.

462.4.17 Bacheos con mezcla reciclada en caliente

Cuando se empleen mezclas recicladas en planta y en caliente, para rellenar parte o la totalidad de las excavaciones realizadas para la reparación de un pavimento existente, se deben aplicar los criterios indicados en el numeral 450.4.13 del artículo 450.

462.4.18 Limitaciones en la ejecución

Se aplica lo descrito en el numeral 450.4.15 del artículo 450.

462.4.19 Apertura al tránsito

Al respecto, se aplica lo descrito en el numeral 450.4.14 del artículo 450.

462.4.20 Manejo ambiental

Además de lo pertinente que se haya especificado en el presente artículo, rige el artículo 106, Aspectos Ambientales, así como todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del artículo 400.

462.4.21 Reparaciones

Rige lo establecido en el numeral 450.4.17 del artículo 450.

462.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

462.5.1 Controles

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

462.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

462.5.2.1 Calidad del material bituminoso de adición

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el material bituminosos de adición son los establecidos en el artículo 410.

462.5.2.2 Calidad del agente rejuvenecedor para reciclado y de los aditivos mejoradores de adherencia

En caso de que se requieran agentes rejuvenecedores y/o aditivos, se debe cumplir lo establecido en los numerales 462.2.3 y 462.2.4 respectivamente.

462.5.2.3 Calidad del polímero

En caso de adición de polímeros, se debe cumplir lo establecido en el numeral 462.2.5 y la calidad debe ser definida según lo estipulado en el artículo 414. Se recomienda que el control exigido de recuperación elástica por tensión a veinticinco grados Celsius (25 °C) según la norma UNE 13398, sea superior a cincuenta por ciento (50 %).

462.5.2.4 Calidad de los agregados pétreos y de la llenante mineral de adición

Los agregados pétreos de adición y el llenante mineral deben ser sometidos a las mismas pruebas de verificación mencionadas en el numeral 450.5.2.2 del artículo 450. Los resultados de estas pruebas deben satisfacer las exigencias indicadas para dichos materiales en el numeral 450.2.1 del mismo artículo, so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

462.5.2.5 Calidad del agregado pétreo de reciclaje

La calidad del agregado se debe evaluar según las características del numeral 462.2.1.1 del presente artículo, las cuales deben ser declaradas por el proveedor.

462.5.2.6 Composición de la mezcla

Resulta aplicable todo lo exigido en el numeral 450.5.2.3 del artículo 450.

462.5.2.7 Calidad de la mezcla

Rige lo establecido en el numeral 450.5.2.4 del artículo 450.

462.5.2.8 Calidad del producto terminado

Rige lo establecido en el numeral 450.5.2.5 del artículo 450.

462.6 Medida

Rige lo descrito en el numeral 400.6 y en particular en el numeral 400.6.2 del artículo 400. Para bacheos, se debe aplicar lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo artículo.

462.7 Forma de pago

Rige lo descrito en el numeral 400.7 y en particular en el numeral 400.7.4 del artículo 400.

Se excluyen del precio unitario, el suministro y el almacenamiento del producto asfáltico para la mezcla, los cuales se deben pagar de acuerdo con la especificación referente a dicho producto.

462.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
462.1	Mezcla asfáltica reciclada en caliente del tipo _____	Metro cúbico (m ³)
462.2	Mezcla asfáltica reciclada en caliente del tipo _____ para bacheo	Metro cúbico (m ₃)

Nota: se debe elaborar un ítem de pago diferente para cada tipo de mezcla asfáltica reciclada en caliente que forme parte del contrato. Cada una de ellas se debe identificar agregando una cifra al esquema numerado del ítem. Por ejemplo, si el contrato contempla dos mezclas recicladas en caliente, una del tipo MDC-19 y otra del tipo MSC-25, sus ítems de pago se deben identificar así:

Ítem	Descripción	Unidad
462.1.1	Mezcla asfáltica reciclada en caliente del tipo MDC-19	Metro cúbico (m3)
462.1.2	Mezcla asfáltica reciclada en caliente del tipo MSC-25	Metro cúbico (m3)

Geotextiles para repavimentación

Artículo 464 – 22

464.1 Descripción

Este trabajo consiste en el suministro e instalación de geotextiles no tejidos y un ligante asfáltico para formar estructuras continuas y flexibles. Se deben usar para retardar la aparición o calcado de fisuras en capas de rodadura con mezclas asfálticas en caliente o como membrana amortiguadora de esfuerzos. El desarrollo de esta membrana se debe ejecutar sobre una superficie previamente preparada, de acuerdo con los parámetros de esta especificación y de conformidad con los alineamientos, cotas y secciones indicados en los documentos del proyecto o a criterio del interventor.

464.2 Materiales

464.2.1 Geotextil

Se deben utilizar geotextiles elaborados a partir de polímeros sintéticos de cadena larga, compuestos con un porcentaje mínimo de noventa y cinco por ciento (95 %) en masa de poliolefinas o poliéster y deben ser del tipo no tejido, punzonado por agujas. Deben tener la capacidad de absorber la cantidad especificada de ligante asfáltico y poseer las propiedades mecánicas que se indican en la Tabla 464 – 1.

Las propiedades de resistencia del geotextil deben depender de los requerimientos de

supervivencia y de las condiciones y procedimientos de instalación. Las propiedades corresponden a condiciones normales de instalación y deben ser medidas en el sentido más débil del geotextil; es decir, los resultados de las pruebas promedio de cualquier rollo de un lote muestreado para las pruebas de conformidad o de garantía de calidad deben cumplir o superar los valores especificados.

Las propiedades de los geosintéticos se expresan en general en términos de Valores Mínimos Promedio por Rollo (VMPR). El VMPR es una herramienta de control de calidad que le permite a los fabricantes establecer los valores en sus certificados, de manera que el comprador tenga un nivel de confianza del noventa y siete coma siete por ciento (97,7 %) de que las propiedades, medidas sobre el producto que compra, cumplen con los valores certificados. Para datos que tengan una distribución normal, el VMPR se calcula como el valor típico menos dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores mínimos; o más dos (2) veces la desviación estándar, cuando se especifican valores máximos.

Los valores promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo deben satisfacer los requisitos establecidos en este artículo.

Tabla 464 – 1. Propiedades mecánicas del geotextil para pavimentación en términos de VMPPR

Propiedad	Norma de ensayo ASTM	Norma de ensayo NTC	VMPPR
Resistencia a la tensión Grab (N) , valor mínimo	D4632	NTC 1998	450
Elongación a la rotura (%), mínimo	D4632	NTC 1998	50
Retención asfáltica en términos de asfalto residual (l/m ²), mínimo (Nota 2)	D6140	NTC 4342	0,9
Masa por unidad de área (g/m ²), mínimo	D5261	NTC 1999	140
Punto de fusión (°C) , mínimo			
- Pavimentación con asfaltos convencionales y temperatura de instalación < 150 °C	D276	-	150
- Pavimentación con asfaltos modificados con polímeros o temperatura de instalación > 150 °C			250

Nota 1: el promedio de los resultados de los ensayos practicados a cualquier rollo del lote que se esté analizando, debe ser mayor o igual al VMPPR presentado en esta especificación.

Nota 2: la retención asfáltica debe ser suministrada por el fabricante y verificada por el interventor, junto con la indicación de la cantidad de cemento asfáltico requerida para saturar el geotextil.

El fabricante del geotextil debe contar con un proceso de producción que tenga su sistema de gestión de la calidad certificado bajo la NTC-ISO 9001. El laboratorio, propio o externo, que se use para realizar los ensayos de control de la calidad de la producción, debe estar acreditado bajo la NTC-ISO/IEC 17025 o con una acreditación GAI-LAP del Instituto de Acreditación de Geosintéticos (GAI).

El fabricante debe suministrar el programa de control de calidad y los datos de soporte, donde se indiquen los requisitos de ensayos, los métodos de ensayo, la frecuencia de los ensayos, los criterios de aceptación en la fabricación y el tamaño del lote para evaluación de cada producto.

464.2.2 Ligante asfáltico

El ligante asfáltico debe ser una emulsión de rompimiento rápido tipo CRR-60 o una emulsión de rompimiento rápido modificada con

polímeros tipo CRR-60m, que cumplan lo especificado en los artículos 411, Suministro de emulsión asfáltica y 415, Suministro de emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros, respectivamente.

464.3 Equipo

Se aplica lo que resulte pertinente de lo descrito 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.

Para la aplicación del riego del producto asfáltico y la colocación del geotextil se deben requerir, básicamente, equipos para el barrido de la superficie, distribuidor del material asfáltico, equipo para la instalación del geotextil, herramientas menores y, eventualmente, un compactador neumático liviano.

464.3.1 Equipo de barrido

Se debe disponer de barredoras mecánicas de cepillo. En caso de que las autoridades ambientales no permitan su utilización, se pueden usar escobas manuales, previa autorización del interventor.

464.3.2 Equipo para la aplicación del ligante asfáltico

El carro tanque irrigador debe cumplir exigencias mínimas que garanticen la aplicación uniforme y constante del producto asfáltico, a la temperatura apropiada, sin que lo afecten la carga, la pendiente de la vía o la dirección del vehículo. Sus dispositivos de irrigación deben proporcionar una distribución transversal adecuada del ligante. El vehículo debe estar provisto de un velocímetro calibrado en metros por segundo (m/s), o pies por segundo (pie/s), visible al conductor, para mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme del asfalto en sentido longitudinal.

El carro tanque debe aplicar el producto asfáltico a presión y para ello debe disponer de una bomba de impulsión, accionada por motor y provista de un indicador de presión. También, debe estar provisto de un termómetro para el ligante, cuyo elemento sensible no puede encontrarse cerca de un elemento calentador.

Para áreas inaccesibles al equipo irrigador y para retoques y aplicaciones mínimas, se debe usar una caldera regadora portátil, con sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carro tanque con una boquilla de expansión que permita un riego uniforme. Por

ningún motivo se debe permitir el empleo de regaderas u otros dispositivos de aplicación manual por gravedad.

464.3.3 Equipo para la instalación del geotextil

El equipo mecánico o manual de instalación del geotextil debe ser capaz de disponerlo uniformemente, cuidando de producir la mínima cantidad de arrugas.

Se puede requerir, en ciertos trabajos, un compactador neumático liviano para homogeneizar y reforzar la adherencia del geotextil con el riego de ligante asfáltico.

464.3.4 Herramientas menores

Se deben suministrar escobas de cerdas rígidas o rodillos de manejo manual para uniformizar la superficie del geotextil; tijeras o cuchillas para cortarlo y cepillos para aplicar el ligante asfáltico a los traslapes del geotextil.

464.4 Ejecución de los trabajos

464.4.1 Preparación de la superficie existente

La superficie se debe limpiar de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto que pueda ser perjudicial para el trabajo, empleando barredoras o sopladoras mecánicas en sitios accesibles a ellas, si su uso está autorizado por las autoridades ambientales competentes, y escobas manuales donde aquellas no puedan acceder o cuando el uso de equipos mecánicos no sea autorizado.

Después de terminar el proceso de limpieza, las grietas que excedan seis milímetros (6 mm)

de ancho, deben ser sopladas y selladas de acuerdo con lo establecido en el artículo 466, Sello de grietas en pavimentos asfálticos y lo indicado en los documentos del proyecto.

464.4.2 Tasa de aplicación del ligante asfáltico

La cantidad de ligante asfáltico a utilizar, depende de la porosidad relativa de la capa antigua y del geotextil a emplear en el proceso de repavimentación. La cantidad de ligante asfáltico residual debe ser la suficiente para satisfacer los requerimientos de la saturación del geotextil y para adherir el geotextil y la nueva capa asfáltica a la superficie antigua. Esta cantidad debe ser definida por el constructor con base en las recomendaciones de fabricante del geotextil y los resultados de pruebas en el sitio, verificada y/o establecida por el interventor.

464.4.3 Aplicación del ligante asfáltico

Antes de la aplicación del ligante, se debe marcar una línea guía en la calzada para controlar el paso del distribuidor y se debe señalar la longitud de la carretera que queda cubierta, de acuerdo con la cantidad de cemento asfáltico o emulsión disponible en el distribuidor.

La dosificación elegida del ligante se debe aplicar de manera uniforme a una temperatura que corresponda a una viscosidad Saybolt-Furol comprendida entre veinticinco y cien segundos (25 sSF y 100 sSF), evitando duplicaciones de dotación en las juntas transversales de trabajo, para lo cual se deben colocar fajas de papel grueso, de ancho no menor a un

metro (1 m), bajo los difusores, en aquellas zonas donde comience o se interrumpa la aplicación.

Al comienzo de cada jornada de trabajo se debe verificar la uniformidad del riego. Si fuere necesario, se deben calentar las boquillas de irrigación antes de cada descarga. La bomba y la barra de distribución se deben limpiar al final de la jornada.

Durante la aplicación del ligante, se deben proteger todos los elementos que señale el interventor, tales como bordillos, vallas o árboles. En trabajos de prueba o de limpieza de los equipos, no se debe permitir descargar el material asfáltico en zanjas o zonas próximas a la carretera.

No se debe consentir ningún tipo de tránsito sobre el ligante aplicado.

464.4.4 Colocación del geotextil

El geotextil se debe colocar sin arrugas, inmediatamente después de la aplicación del ligante asfáltico y antes de que la emulsión asfáltica rompa totalmente y no se logre la adecuada saturación del geotextil.

La aplicación del geotextil se debe realizar mecánicamente mediante equipos especiales para la colocación de los rollos.

A continuación, los cuidados principales para el tratamiento de las arrugas que se puedan producir:

- Las arrugas y dobleces de más de veinticinco milímetros (25 mm) se deben rasgar y aplanar siempre en el sentido del avance

de los equipos de pavimentación, para evitar levantamientos.

- En el caso de que la arruga o doblez sobrepase los cincuenta milímetros (50 mm), se debe rasgar, cortar la cantidad que sobrepase los cincuenta milímetros (50 mm) y aplanar, como en el caso anterior.
- El traslazo del geotextil, en reparación de arrugas, debe contemplar el uso de ligante adicional para saturar las dos (2) capas de geotextil.
- Los traslazos entre rollos adyacentes deben tener la menor dimensión posible y los traslazos en cualquier dirección, no deben exceder de quince centímetros (15 cm). En las zonas de traslazos, se debe hacer una aplicación adicional de ligante asfáltico para garantizar la saturación total del geotextil.
- Para lograr un mayor contacto del geotextil con el ligante y eliminar en mayor proporción las arrugas del geotextil, se puede utilizar un compactador neumático liviano. Una pasada sobre el geotextil, transitando a baja velocidad, puede ser suficiente.

464.4.5 Colocación de la capa asfáltica nueva

Una vez instalado el geotextil, se debe colocar la nueva capa asfáltica en el menor tiempo posible. La aplicación del riego de ligante asfáltico y la colocación del geotextil deben estar coordinadas con la puesta en obra de la capa superpuesta a este, de manera que el ligante no haya perdido su efectividad como elemento de unión. Cuando el interventor lo estime necesario, se debe aplicar un riego de liga, sin costo adicional para el Instituto

Nacional de Vías (INVÍAS), si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al constructor.

La dosificación de este riego de liga se debe establecer en obra con base en los resultados de las pruebas que allí se efectúen; esta dosificación debe contar con la aquiescencia del interventor.

Para evitar que el geotextil instalado se desplace y se dañe, las maniobras de los equipos de construcción se deben realizar a la menor velocidad y con el mayor cuidado posible.

La colocación de la carpeta asfáltica nueva se debe realizar conforme con las especificaciones y características particulares de cada proyecto, según lo establecido en el artículo 450, Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

464.4.6 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competen-

te y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

No se debe permitir el tránsito de vehículos sobre la superficie con el geotextil ya instalado.

464.4.7 Limitaciones en la ejecución

Por ningún motivo se debe admitir la aplicación del riego de ligante asfáltico y la colocación del geotextil cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C) o haya lluvia o fundado temor de que ella ocurra.

Los trabajos de instalación de geotextiles para repavimentación se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe admitir el trabajo nocturno y debe 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.

464.4.8 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.

464.4.9 Reparaciones

Todos los defectos que se presenten durante la ejecución de los trabajos, tales como juntas

irregulares, defectos en la aplicación del ligante o en la colocación del geotextil, irregularidades del alineamiento, etc., así como los que se deriven de un incorrecto control del tránsito recién terminados los trabajos, deben ser corregidos por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor, sin costo adicional para INVÍAS.

464.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

464.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, se deben adelantar los siguientes controles:

- Comprobar el estado y funcionamiento de todo el equipo.
- Verificar la preparación de la superficie existente, según lo establecido en los documentos del proyecto y lo indicado en el numeral 464.4.1.
- Constatar la correcta dosificación de la cantidad de ligante asfáltico según lo establecido en los documentos del proyecto y lo definido en la obra con base en los resultados de las pruebas iniciales mencionadas en el numeral 464.4.2.
- Probar la viscosidad del ligante en el momento de colocación del geotextil, de acuerdo con lo descrito en el numeral 464.4.3.
- Verificar la correcta colocación del geotextil, los tratamientos de las arrugas y los traslajos entre los rollos de geotextil, de acuerdo con lo descrito en el numeral 464.4.4 de esta especificación.
- Supervisar la correcta aplicación del procedimiento constructivo aceptado.

- Comprobar que los materiales a utilizar cumplan con los requisitos de calidad exigidos por la presente especificación.
- Vigilar las condiciones climáticas durante los procesos de aplicación del ligante asfáltico y la instalación del geotextil.
- Efectuar los ensayos de control sobre el ligante asfáltico y el geotextil.
- Constatar que cada rollo de geotextil tenga en forma clara la información del fabricante, el número del lote de fábrica y la referencia del producto, así como la composición química del mismo.
- Comprobar que, durante el transporte y el almacenamiento, los geotextiles tengan los empaques que los protejan de la acción de los rayos ultravioleta, agua, barro, polvo y otros materiales que puedan afectar sus propiedades.
- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra ejecutadas a satisfacción.
- 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.

464.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

464.5.2.1 Calidad del material asfáltico

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión asfáltica, se encuentran establecidos en los artículos 411 o 415.

464.5.2.2 Dosificación del ligante asfáltico

Para la comprobación de la dosificación del ligante asfáltico, se considera como lote, aceptado o rechazado en su integridad, la menor área que resulte de aplicar los tres (3) siguientes criterios:

- Quinientos metros (500 m) de calzada con geotextil.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3 500 m²) de calzada con geotextil.
- La superficie construida en un día de trabajo.

La dosificación del ligante asfáltico se debe comprobar mediante la norma de ensayo INV E-818 en no menos de cinco (5) puntos del área considerada como lote, ubicados al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro.

La tasa media de aplicación de ligante residual (TML) por lote, no puede variar en más de quince por ciento (15 %) de la aprobada por el interventor (TEL), según lo establecido en el numeral 464.4.2 de esta especificación, de acuerdo con la ecuación [464.1].

$$0,85 TEL \leq TML \leq 1,15 TEL \quad [464.1]$$

El interventor debe abstenerse de aceptar áreas regadas donde la dosificación media de ligante esté por fuera del rango especificado. Tampoco se debe aceptar un lote donde más de un punto de ensayo presente un resultado por fuera del límite citado. El interventor debe determinar las medidas por adoptar cuando se presenten estos incumplimientos.

El costo de los materiales, equipos y operaciones requeridos para la corrección de defectos o excesos en el riego asfáltico, debe ser asumido por el constructor.

464.5.2.3 Calidad del geotextil

Por cada lote de rollos que llegue a la obra, el constructor debe entregar al interventor una certificación expedida por el fabricante del geotextil, en la que se establezca el nombre del producto, la composición química relevante de los filamentos o cintas y toda la información que describa al geotextil, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deben satisfacer todas las condiciones establecidas en la Tabla 464 – 1.

El interventor se debe abstener de aceptar el empleo de suministros de geotextil que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Sin embargo, dicha constancia no evita, en ningún caso, la ejecución de ensayos de comprobación por parte del interventor, ni implica necesariamente la aceptación de la entrega.

El fabricante es responsable de establecer y mantener un programa de control de calidad, el cual debe ser informado al interventor mediante un documento que lo describa. La certificación del fabricante debe hacer constar que el geotextil suministrado ofrece los VMPPR, de acuerdo con los establecidos en su hoja de especificaciones de producto, obtenidos bajo el programa de control de calidad del fabricante. La certificación del fabricante debe estar amparada por un sistema de gestión de la calidad certificado bajo la NTC-ISO 9001 vigente, y debe estar escrita en español o inglés.

Además, se debe escoger al azar un número de rollos equivalente a la raíz cúbica del número total de rollos que conformen el lote. Se deben evaluar rollos estándar con un área entre cuatrocientos y seiscientos metros cuadrados ($400 \text{ m}^2 - 600 \text{ m}^2$) cada uno. En el caso de rollos con áreas diferentes, el total de metros cuadrados se debe convertir a unidades de rollos equivalentes de quinientos metros cuadrados (500 m^2).

De cada rollo se deben descartar las dos (2) primeras vueltas de geotextil para el muestreo. Posteriormente, se debe tomar una muestra, como mínimo de un metro (1 m) por el ancho correspondiente al rollo, verificando que esté totalmente seca y limpia. El número de especímenes se debe determinar de conformidad con las normas NTC 2437 (ASTM D4354) y NTC 4805 (ASTM D4759).

Las muestras, debidamente identificadas (número de lote, referencia del producto, etc.), se deben empacar y enviar a un laboratorio distinto al del fabricante o proveedor, para que les sean realizadas las pruebas especificadas en la Tabla 464 – 1.

En relación con los resultados de las pruebas, no se debe admitir ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tabla 464 – 1. Por ningún motivo se pueden aceptar geotextiles rasgados, agujereados o usados.

464.6 Medida

La unidad de medida debe ser el metro cuadrado (m^2), aproximado al entero, de ligante y geotextil colocado y avalado por el interventor, de acuerdo con lo exigido por la presente especificación. El área se debe determinar multiplicando la longitud real, medida a lo largo

del eje del trabajo, por el ancho especificado en los documentos del proyecto o según lo indicado y aprobado por el interventor. No se debe medir ningún área por fuera de tales límites, ni se deben considerar, para efecto del pago, los traslajos.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INVE-823.

464.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al respectivo precio unitario del contrato, por metro cuadrado (m²), para toda obra ejecutada de acuerdo con la presente especificación y avalada por el interventor.

El precio unitario debe incluir el suministro, el almacenamiento y el transporte del geotextil; el barrido y el soplado de la superficie sobre la que se coloca el geotextil; los costos de las pruebas iniciales; el suministro, el almacenamiento, el transporte y la aplicación del ligante asfáltico; la colocación del geotextil; la protección de todos los elementos aledaños a la zona de los trabajos y que sean susceptibles de ser

manchados por los riegos de asfalto; los costos de los desvíos que fuese necesario construir con motivo de la ejecución de las obras; la señalización preventiva de la vía y el ordenamiento de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos y el período posterior en que se deba impedir o controlar, de acuerdo con los documentos del proyecto y aprobados por el interventor; así como toda labor, mano de obra, equipo o material necesarios para la correcta ejecución de los trabajos especificados.

El precio unitario debe incluir, también, los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

El sellado previo de fisuras y grietas se debe pagar según el artículo 466.

La colocación de la carpeta asfáltica se debe pagar según el artículo 450.

464.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
464.1	Geotextil para repavimentación	Metro cuadrado (m ²)

Excavación para reparación de pavimento asfáltico existente

Artículo 465 – 22

465.1 Descripción

Este trabajo se refiere a la excavación de zonas deterioradas de un pavimento asfáltico, de acuerdo con los documentos técnicos del proyecto, previa verificación y aprobación del interventor; incluye, también, la remoción, cargue, transporte, descargue y disposición de los materiales excavados, y la compactación del fondo de las excavaciones realizadas.

465.2 Materiales

No se necesitan materiales para la ejecución de los trabajos objeto del presente artículo.

465.3 Equipo

Además de lo que se indica a continuación, se debe considerar lo aplicable del 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.

465.3.1 Máquina cortadora de pavimento

Para la ejecución de los cortes de las áreas por excavar, se requieren máquinas cortadoras de pavimento con discos diamantados o de algún

otro elemento abrasivo que permita obtener resultados equivalentes. El diámetro de los discos debe ser el necesario para alcanzar la profundidad de las capas asfálticas por cortar y su potencia debe garantizar la operación en una sola pasada, sin generar desprendimientos en las zonas de corte. El número de equipos debe ser el necesario para realizar las excavaciones en cumplimiento del programa de trabajo.

465.3.2 Equipo para excavación y remoción

El constructor puede hacer uso de equipos tales como martillos neumáticos, herramientas manuales, retroexcavadoras o cualquier otro equipo que se ajuste a las dimensiones y profundidades de las áreas a reparar.

No se debe permitir el uso de equipos que debido a sus propias dimensiones de los elementos de corte excedan las áreas o las profundidades a reparar.

465.3.3 Equipos para cargar, transportar y disponer los materiales excavados

Se requieren cargador, vehículos de transporte de materiales, eventual tractor con hoja topadora y compactador para la disposición y compactación de los escombros en el sitio de disposición autorizado.

465.3.4 Otros elementos

Se necesitan elementos adecuados para la compactación del fondo de la excavación y las herramientas auxiliares necesarias para la correcta ejecución del trabajo especificado.

No se debe aceptar el empleo de equipos que puedan causar daño al pavimento fuera de la zona por reparar.

465.4 Ejecución de los trabajos

465.4.1 Demarcación de las áreas por excavar

Antes de dar inicio a los trabajos de corte, el interventor, o el constructor bajo la supervisión de aquel, deben marcar las áreas por someter a reparación, las cuales deben abarcar todas las zonas dañadas del pavimento en reparación.

La demarcación se debe efectuar haciendo uso de figuras geométricas, cuadradas o rectangulares, cuyas caras longitudinales y transversales deben ser, respectivamente, paralelas y perpendiculares al eje de la vía.

Efectuada la demarcación y antes de iniciar los trabajos de excavación para reparación del pavimento existente, el constructor debe diseñar un plan para la ejecución de las excavaciones y el posterior relleno de las mismas, que minimice las molestias a los usuarios y suprima los peligros para todo tipo de tránsito que haga uso de la vía. Dicho plan debe ser evaluado por el interventor, quien es el encargado de vigilar su cumplimiento una vez que le brinde su aprobación, la cual es indispensable para el inicio de los trabajos de corte y excavación.

465.4.2 Corte

Las capas asfálticas de las áreas delimitadas deben ser cortadas con la máquina cortadora de pavimento, garantizando que las paredes excavadas sean uniformes y verticales.

465.4.3 Excavación

Una vez conformados los bordes de la excavación a través de las capas asfálticas, el constructor debe excavar con el equipo aprobado hasta la profundidad señalada por el interventor y remover el material excavado, de manera que el fondo de la excavación sea plano, uniforme, firme y libre de materiales arcillosos o con altos contenidos de materia orgánica que puedan contaminar los materiales de relleno de subbase o base granular antes de la compactación.

Las paredes de la excavación deben mantener la verticalidad obtenida durante el proceso de corte.

465.4.4 Compactación del fondo de la excavación

El fondo de la excavación debe ser compactado en un espesor no menor de quince centímetros (15 cm), de acuerdo con los niveles de densidad que se indican en el numeral 465.5.2.2.

465.4.5 Cargue, transporte, descargue y disposición de los materiales excavados

El constructor debe retirar todos los materiales excavados, los cuales deben ser cargados en volquetas cubriéndolos con lonas u otros

protectores adecuados, debidamente asegurados a la carrocería y transportados a los sitios de disposición indicados en los documentos del proyecto aprobados por el interventor. Los materiales deben ser transportados el mismo día en que sean excavados.

El volumen de material cargado en cada volqueta debe ser tal, que no se exceda los límites de peso por eje y total establecidos por el Ministerio de Transporte para circulación por las carreteras nacionales.

Los materiales deben quedar en el sitio de disposición autorizado, de tal manera que cumplan todas las reglamentaciones legales vigentes al respecto, en especial las referentes a la protección del medio ambiente, asegurando que no generen inestabilidad del terreno ni obstrucciones en el drenaje.

465.4.6 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competen-

te y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

Es responsabilidad del constructor todo daño o perjuicio que se produzca a terceros por su descuido o negligencia durante la ejecución de las reparaciones.

El interventor debe ordenar el relleno completo y adecuado de la excavación, en el menor tiempo en que ello resulte técnicamente factible.

465.4.7 Manejo ambiental

Los trabajos de excavación para la reparación de un pavimento asfáltico existente, se deben acometer considerando la protección del medio ambiente y todas las disposiciones legales vigentes sobre el particular.

Cuando el trabajo se realice en cercanías de áreas habitadas, se debe hacer en horas y con equipos que produzcan la menor contaminación acústica, según la reglamentación vigente.

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas en la excavación para reparación de pavimentos asfálticos existentes, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones válidas sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación, deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del

proyecto; por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Por ningún motivo se debe permitir que los escombros de la excavación sean depositados en la zona del derecho de vía, en cursos o láminas de agua o en áreas ecológicamente sensibles.

465.4.8 Reparaciones adicionales

Si los equipos o los procedimientos empleados por el constructor producen daños en las zonas adyacentes a las demarcadas, deben ser reparados por el constructor, de acuerdo con las instrucciones del interventor y a plena satisfacción de este, sin costo alguno para INVÍAS.

465.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

465.5.1 Controles

Durante la ejecución de los trabajos, deben adelantarse los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo.
- Comprobar la verticalidad de las paredes de la excavación y la adecuada compactación de su fondo.
- Constatar que la disposición de los materiales excavados se realice de acuerdo con las normas y reglamentos vigentes.
- Verificar que las medidas de señalización y control de todo tipo de tránsito durante la ejecución de los trabajos garanticen la seguridad de los usuarios en la vía.

- Comprobar el cumplimiento de todas las medidas ambientales y de seguridad requeridas.
- El plan de calidad y el plan de inspección, medición y ensayo deben ser de obligatorio cumplimiento, tal como se encuentra expresado en el numeral 103.2 del artículo 103, Responsabilidades especiales del constructor.

465.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias

465.5.2.1 Acabado de la excavación

Las excavaciones solamente se deben aceptar si la verticalidad de las paredes y su paralelismo y perpendicularidad con respecto del eje de la vía, son aprobadas por el interventor.

465.5.2.2 Compactación del fondo de la excavación

El interventor debe decidir el número de pruebas de control de compactación por efectuar, en función del tamaño del área excavada. Al efecto, la densidad se puede comprobar por cualquier método aplicable de los descritos en las normas de ensayo INV E-161, E-162 y E-164.

Ningún ensayo puede dar lugar a un porcentaje de compactación inferior al cien por ciento (100 %) con respecto de la densidad máxima del ensayo modificado de compactación (norma de ensayo INV E-142), si la superficie expuesta corresponde a una base granular, o al noventa y cinco por ciento (95 %) respecto del mismo ensayo, cuando se trate de una subbase granular o una subrasante arenosa; si

se trata de una subrasante arcillosa, la densidad de referencia es el cien por ciento (100 %) del ensayo normal de compactación (norma de ensayo INV E-141).

El incumplimiento de este requisito implica el rechazo de los trabajos. En este caso, el constructor debe recompactar el fondo de la excavación hasta obtener los niveles mencionados en el párrafo anterior.

Si al realizar las excavaciones que son objeto de este artículo, se encuentran en su fondo capas estabilizadas o capas asfálticas de un pavimento antiguo y el interventor considera que ellas no deben ser removidas, no debe haber lugar a la aplicación de la exigencia sobre compactación mencionada en este inciso.

465.6 Medida

La unidad de medida de la excavación para reparación del pavimento asfáltico existente debe ser el metro cúbico (m³), aproximado a la décima de metro cúbico, de excavación realizada de acuerdo con esta especificación, aceptada por el interventor.

Si las capas asfálticas se han cortado con una máquina fresadora, su volumen removido debe ser objeto de medida y pago con cargo al artículo 460, Fresado de pavimento asfáltico.

El volumen se debe medir multiplicando cada una de las áreas aprobadas por el interventor por la profundidad media de cada excavación. No se debe incluir en la medida ningún volumen por fuera de estos límites.

El resultado de la medida debe reportarse con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

465.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo con esta especificación y aceptada por el interventor. El precio unitario debe cubrir todos los costos relacionados con el corte y escarificación del pavimento asfáltico en el espesor ordenado por el interventor: la excavación, remoción, cargue, transporte, depósito y correcta disposición, incluida la eventual compactación de los materiales excavados en los sitios de disposición autorizados; la compactación del fondo de las excavaciones, la señalización y el control de todo tipo de tránsito durante la ejecución de la excavación y el período adicional que determine el interventor y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de los trabajos especificados.

Si el corte y la remoción de las capas asfálticas se realizan con una máquina fresadora, el precio unitario pactado en el presente artículo solo debe cubrir la excavación de las capas subyacentes.

Se debe incluir, dentro del precio unitario, los posibles costos inherentes a los derechos de disposición y/o conformación de materiales sobrantes, los cuales incluyen todos los costos inherentes a las posibles obras requeridas en los sitios de disposición.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

Los costos del relleno de las excavaciones, a su vez, se deben pagar de acuerdo con los materiales empleados para ello, según se indica en los artículos correspondientes.

465.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
465.1	Excavación para reparación del pavimento asfáltico existente, incluyendo el corte y la remoción de las capas asfálticas y de las subyacentes	Metro cúbico (m ³)
465.2	Excavación para reparación del pavimento asfáltico existente excluyendo el corte y la remoción de las capas asfálticas	Metro cúbico (m ³)

Sello de grietas en pavimentos asfálticos

Artículo 466 – 22

466.1 Descripción

Este trabajo consiste en la conformación (ruteo) y la limpieza de las grietas lineales aisladas de un pavimento de mezcla bituminosa y su sellado empleando un ligante asfáltico, de acuerdo con lo establecido en los planos y demás documentos del proyecto y las instrucciones del interventor.

Este artículo no aplica al sellado de aquellas áreas donde las grietas se encuentran formando bloques interconectados como las de tipo piel de cocodrilo, generadas por la fatiga del pavimento.

466.2 Materiales

Los materiales utilizados para el sello de grietas deben ser del tipo de aplicación en caliente, que cumplan los requisitos físicos de calidad indicados en el artículo 410, Suministro de cemento asfáltico y la ASTM D6690, o emulsiones asfálticas modificadas con polímeros, que cumplan los requisitos del artículo 415, Suministro de emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros. Los ensayos respectivos se deben efectuar conforme lo establece la ASTM D5329.

466.3 Equipo

Para la aplicación en caliente, el constructor debe poner a disposición de los trabajos el

equipo necesario para su correcta ejecución, incluyendo una caldera de doble fondo para el calentamiento del producto sellante, un compresor de aire, lanzas de aire comprimido caliente, elementos para la conformación (ruteo) y sello de las grietas, vehículos de transporte y herramientas adicionales tales como escobas, palas, etc. El equipo debe ser mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que duren los trabajos y debe ser operado por personal capacitado.

La caldera debe ser de doble fondo y el espacio entre los dos (2) fondos debe estar lleno de aceite para la transferencia de calor e impedir que la llama entre en contacto directo con el recipiente que contiene el producto sellante. El aceite debe tener un punto de inflamación no menor de doscientos ochenta grados Celsius (280 °C). La caldera debe disponer de un dispositivo de control automático de temperatura y un equipo de agitación que prevenga variaciones localizadas de la temperatura del sellante. Estar dotada, además, de dos (2) termómetros para controlar la temperatura del sellante y la del aceite; igualmente, debe estar montada sobre llantas neumáticas y debe tener una placa metálica bajo el fogón, para proteger el pavimento.

El equipo mecánico para la conformación de las grietas (ruteadora), debe ser de cuchillas múltiples rotatorias de carburo montadas alrededor de un volante, sostenidas en su

lugar por pasadores de acero endurecido. El equipo debe ser capaz de producir el contorno especificado de manera fácil y en una sola pasada y debe ser accionado por un motor de, cuando menos, quince kilovatios (15 kW) de potencia.

El compresor debe tener trampas capaces de mantener el aire comprimido libre de agua y aceite y debe producir una corriente continua de aire limpio y seco a una presión no inferior a seiscientos kilopascales (600 kPa) y en un volumen no menor de cuatro coma cinco metros cúbicos por minuto (4,5 m³/min).

La lanza de aire comprimido debe ser capaz de suministrar una corriente continua de aire a alta presión a una temperatura de mil grados Celsius (1 000 °C) y a una velocidad de descarga de mil metros por segundo (1 000 m/s), sin llama en el orificio de salida.

El equipo de aplicación del producto sellante debe trabajar a presión y tener la capacidad suficiente para inyectar en flujo continuo el volumen requerido de sellante, hasta la profundidad adecuada. Debe estar equipado con una boquilla cuya forma se ajuste dentro de las grietas por sellar y debe disponer de un termómetro para verificar la temperatura de aplicación.

La aplicación en frío se debe realizar mediante dispositivos de alimentación por gravedad, como los recipientes de vertido, o a través de mangueras de presión, siguiendo las instrucciones que proporcione el fabricante, previa verificación y aprobación de la interventoría.

Si el equipo utilizado presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, el interventor debe ordenar la suspensión

inmediata de los trabajos hasta que el constructor corrija las deficiencias, lo reemplace o sustituya al operador, según corresponda.

466.4 Ejecución de los trabajos

466.4.1 Transporte y almacenamiento

El transporte y el almacenamiento de todos los productos requeridos para la ejecución de los trabajos objeto de este artículo, son de responsabilidad exclusiva del constructor, quien debe realizarlos de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes de dichos productos y de manera que no se produzcan alteraciones que ocasionen deficiencias en la calidad de la obra. El transporte se debe ajustar, en todo lo que corresponda, a la reglamentación vigente en cuanto a cargas y dimensiones y a protección ambiental.

466.4.2 Labores previas

Antes de iniciar los trabajos de sello de grietas, el constructor debe instalar señales de prevención, dispositivos de seguridad y garantizar el personal idóneo para el control de tráfico, de acuerdo con lo establecido en el numeral 466.4.5

466.4.3 Preparación de las grietas

Todas las grietas por sellar que indique el interventor y que tengan un ancho mayor de seis milímetros (6 mm) y menor o igual a veinte milímetros (20 mm), deben conformarse mecánicamente en un ancho y una profundidad de veinte milímetros (20 mm). La ruteadora debe exhibir, en todo momento, la capacidad de conformar el depósito de diseño en una

sola pasada. El constructor debe cambiar las cortadoras, siempre que se presente alguna evidencia de que la configuración especificada para el depósito del sello no se está logrando de manera expedita en una sola pasada.

La operación debe ser correcta, con el fin de cortar las paredes débiles y oxidadas de la grieta, dejando el pavimento con la resistencia necesaria para asegurar la adhesión del sello a largo plazo y creando el depósito de dimensiones adecuadas que permita colocar suficiente cantidad de sello.

Una vez elaborado, el depósito debe presentar paredes verticales y un perfil horizontal uniforme y debe ser limpiado con aire comprimido para remover partículas de polvo, materiales sueltos y humedad que impidan la adhesión del producto sellante.

Cuando se utilicen materiales para el sello de tipo de aplicación en caliente, antes de aplicar el sellante, los bordes expuestos de la capa asfáltica recién cortada deben ser tratados con la lanza de aire comprimido caliente hasta que la grieta se encuentre completamente seca y ligeramente oscurecida.

Cuando se utilice una emulsión asfáltica en frío para el sello de las grietas, antes de su aplicación se debe aplicar un rociado ligero de agua en las caras interiores de la grieta, para evitar el rompimiento prematuro de la emulsión.

Las grietas cuyo ancho sea superior a veinte milímetros (20 mm) no requieren conformación, pero deben ser limpiadas de todo material suelto y extraño en una profundidad, cuando menos, igual a su ancho.

Siempre que en el interior de una grieta se encuentren atrapados materiales incompresibles, ellos deben ser removidos cuidadosamente.

Por ningún motivo se debe permitir el empleo de barras, cinceles o equipos neumáticos de percusión que puedan afectar la mezcla asfáltica, como tampoco solventes que puedan disolver el asfalto, degradar o transportar los elementos contaminantes hacia el fondo de la grieta e impedir la adecuada adherencia del material sellante.

Antes de proceder al sellado, todo material suelto que quede en la superficie del pavimento, como resultado de las operaciones de conformación o de limpieza de las grietas, debe ser removido mediante barrido o soplado con aire comprimido, aprobado por el interventor y que no produzca molestias a los usuarios ni a los vecinos de la vía.

466.4.4 Sellado de las grietas

El material sellante debe ser colocado dentro de la grieta en un término no mayor de dos minutos (2 min) desde que la lanza de aire caliente haya pasado por las grietas y sus superficies aledañas. Este tiempo es crítico y, por lo tanto, entre más breve sea, mejor ejecutado debe quedar el trabajo .

El sellante debe ser calentado y aplicado dentro de los rangos de temperatura especificados, en acuerdo con las recomendaciones del fabricante. La temperatura del sellante en el instante de su descarga en el depósito debe ser tal, que le permita fluir libremente a través de la grieta. El sellado de las grietas no puede

comenzar mientras no se haya determinado que el producto ha alcanzado la temperatura correcta de colocación. El sellante se debe aplicar desde el fondo de la grieta hacia la superficie.

La operación de sellado debe ser limpia, rellenando únicamente las áreas requeridas, sin dejar manchas en el pavimento fuera de la grieta, evitando derrames y pérdidas de material.

Ningún sellante que se haya calentado en exceso de diez grados Celsius (10 °C) o más, por encima de la temperatura de calentamiento seguro especificada por el fabricante, puede ser empleado para los trabajos de que es objeto el presente artículo.

Cuando se utilicen emulsiones modificadas con polímeros para el sello de grietas, se deben aplicar siguiendo las instrucciones que proporcione el fabricante, previa verificación y aprobación de la interventoría.

Toda cantidad de sellante aplicada en exceso debe removerse inmediatamente se termine la aplicación, utilizando elementos enrasadores provistos de allanadores de caucho o de neopreno.

Una vez concluido el sellado, la superficie de rodamiento debe presentar una textura uniforme, sin rebordes que impidan el libre escurrimiento del agua superficial sobre la carpeta.

466.4.5 Plan de Manejo de Tránsito (PMT)

El constructor debe contar con un PMT e instalar todos los elementos de señalización

preventiva en la zona de los trabajos, de acuerdo con lo establecido en el Manual de Señalización Vial vigente del Ministerio de Transporte, los cuales deben garantizar la seguridad permanente tanto del personal y de los equipos de construcción, como de los usuarios y transeúntes, durante las veinticuatro horas (24 h) del día.

Para actividades que no impliquen el cierre total de la vía, el interventor debe dar su visto bueno previo a la presentación de un PMT. Para casos que impliquen el cerramiento total de la vía, se deben tramitar los permisos correspondientes ante la autoridad competente y se debe presentar el PMT aprobado por el interventor.

No se debe permitir la circulación del tránsito automotor mientras el sellante no haya curado, para evitar que pueda ser desprendido. En sitios tales como intersecciones, donde el control del tránsito no resulte práctico, el constructor debe prevenir el levantamiento del sellante o la formación de huellas en él, aplicando arena u otro producto secante aprobado por el interventor. Esta aplicación no se puede realizar hasta que el sellante haya enfriado lo suficiente como para impedir la inclusión del producto de protección dentro del sellante.

466.4.6 Limitaciones en la ejecución

No se debe admitir la realización de los trabajos objeto del presente artículo cuando la temperatura ambiente a la sombra y la de la superficie del pavimento sean inferiores a cinco grados Celsius (5 °C), la superficie se encuentre húmeda o haya lluvia o fundados temores de que ella ocurra.

Los trabajos se deben realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por INVÍAS o se deban evitar horas pico del tránsito, el interventor puede autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre y cuando el constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel. Si el constructor no ofrece esta garantía, no se le debe consentir el trabajo nocturno y debe 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.

466.4.7 Manejo ambiental

En adición a los aspectos generales indicados en el artículo 106, Aspectos ambientales, todas las labores requeridas para el sellado de grietas en pavimentos asfálticos, se deben realizar teniendo en cuenta lo establecido en las normas y disposiciones vigentes sobre la conservación del ambiente y los recursos naturales.

Todas las actividades que se ejecuten en cumplimiento a esta especificación deben acatar lo establecido en las normas y disposiciones ambientales. De esta manera, dichas actividades se deben incluir en los costos del proyecto; por tanto, no deben ser objeto de reconocimiento directo en el contrato.

Durante los trabajos de sellado de grietas, el constructor debe tomar todas las precauciones necesarias para evitar la contaminación de aire, suelos, aguas superficiales o subterráneas y la flora, conforme con lo señalado en la reglamentación ambiental vigente. En particular, debe:

- Evitar la colocación de la caldera en vecindades de algún curso de agua o de sistemas de alcantarillado.
- Impedir el calentamiento excesivo del producto sellante.
- Dotar a sus operarios de los elementos que los protejan contra quemaduras y aspiración de vapores tóxicos.

Al término de cada jornada de trabajo o antes si así lo requiere el interventor, debe limpiar y remover todos los escombros generados por la operación de sellado de grietas en el área de trabajo. Igual disposición se debe aplicar al término definitivo de los trabajos.

El constructor debe abstenerse de depositar sobrantes de los trabajos en la zona de derecho de vía o en cualquier otro lugar donde se puedan producir algún perjuicio ambiental.

466.4.8 Conservación de los trabajos

Es responsabilidad del constructor la conservación del sellado de grietas hasta que el trabajo sea aprobado por el interventor.

466.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

466.5.1 Controles

Se deben adelantar los siguientes controles principales:

- Verificar el correcto estado y funcionamiento de los equipos dispuestos para los trabajos.
- Comprobar que los recipientes con el

sellante vengan acompañados de documentos que certifiquen el nombre del fabricante, el nombre comercial del producto, el número del lote de fabricación y las temperaturas de aplicación y de calentamiento seguro.

- Ejecutar los ensayos para verificar la conformidad del producto con lo establecido en el numeral 466.2, cada vez que el interventor lo estime conveniente.
- Constatar la correcta ejecución de los trabajos especificados.
- Medir, para efectos de pago, las cantidades de obra correctamente ejecutadas.
- 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.
- Confirmar que el acabado final de la superficie de rodamiento a causa de los trabajos especificados, no presente afloramientos del producto sellante o cualquier otro defecto que afecte adversamente la calidad de la circulación o el buen comportamiento del pavimento.
- Revisar que la superficie del pavimento quede limpia y que los excedentes del producto hayan sido retirados y dispuestos de conformidad con las normas vigentes sobre la materia.

El interventor se debe abstener de aceptar los trabajos realizados si, al efectuar las verificaciones a las cuales hace referencia este inciso, determina algún incumplimiento por parte del constructor.

466.6 Medida

La unidad de medida del sello de grietas debe ser el metro (m), aproximado al entero, de grieta sellada para cualquier ancho y profundidad de ella, en acuerdo con los documentos del proyecto y aceptada por el interventor.

El resultado de la medida se debe reportar con la aproximación establecida, empleando el método de redondeo de la norma INV E-823.

466.7 Forma de pago

El pago se debe hacer al precio unitario del contrato, por la longitud de grietas correctamente sellada de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el interventor.

El precio unitario debe cubrir todos los costos de conformación (ruteo), limpieza y calenta-

466.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias.

Se deben adelantar las siguientes actividades:

- Comprobar que las temperaturas de calentamiento y aplicación del sellante sean las apropiadas e impedir la utilización de todo sellante cuya temperatura haya excedido en más de diez grados Celsius (10 °C) la de calentamiento seguro.
- Verificar la correcta ejecución del depósito para el sellante.
- Constatar el adecuado calentamiento de la grieta antes de aplicar el sellante y controlar el tiempo entre el calentamiento y la aplicación.

miento de las grietas, los de adquisición, manejo, almacenamiento, suministro en el sitio, calentamiento y aplicación del producto sellante en el sitio de colocación final. Además, debe cubrir los costos por concepto de desperdicios, por limpieza de la superficie luego de los trabajos; control del tránsito antes, durante y después de la ejecución de los trabajos; y, en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

El precio unitario debe incluir los costos de administración e imprevistos y la utilidad del constructor.

466.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
466.1	Sello de grietas en pavimento asfáltico sin ruteo	Metro (m)
466.2	Sello de grietas en pavimento asfáltico con ruteo	Metro (m)

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 1 Pulgada	19,0 3/4 Pulgada	12,5 1/2 Pulgada	9,5 3/8 Pulgada	4,75 Nro. 4	2,36 Nro. 8	0,60 Nro. 30	0,30 Nro. 50	0,075 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 compactado (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 autopulsados, 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	
Vacíos con aire (%)		3,0 - 5,0	INV E-799
Vacíos en agregados minerales (%)	M-GCR-25	> 14	
	M-GCR-19	> 15	
	M-GCR-12	> 16	
Vacíos 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 (µm/min)		INV E-756
Temperatura media anual del aire > 24 °C	12	
Temperatura media anual del aire ≤ 24 °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.

467.4.1.2.3 Verificación del diseño

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.

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 Aprovechamiento 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).

$$E_m \geq 0,90 * E_t \quad [467.1]$$

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.

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

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.

$$E_i \geq 0,80 * E_m \quad [467.3]$$

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.

$$0,80 * F_t \leq F_m \leq 1,20 * F_t \quad [467.4]$$

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:

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

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:

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

$GC_i (90) < GC_{min}$ 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).

$$e_m \geq e_d \quad [467.8]$$

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

$$e_i \geq 0,90 * e_d \quad [467.9]$$

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 (m³)
467.2	Mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR (M-GCR-19)	Metro cúbico (m³)
467.3	Mezcla asfáltica con asfalto modificado con GCR (M-GCR-12)	Metro cúbico (m³)

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)



La movilidad
es de todos

Mintransporte



UNIVERSIDAD
DEL QUINDÍO



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA



INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS