

## ARTÍCULO 461 - 07

### RECICLADO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO EN FRÍO EN EL LUGAR EMPLEANDO LIGANTES BITUMINOSOS

#### 461.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la disgregación de las capas asfálticas y parte de la base granular de un pavimento existente, de acuerdo con las profundidades de corte señaladas en los documentos del proyecto o indicadas por el Interventor; la eventual adición de nuevos materiales pétreos, agua, mejoradores de adherencia, controladores de rotura, puzolanas y otros elementos de aporte; la incorporación de emulsión asfáltica o cemento asfáltico espumado; y la mezcla, extensión, compactación y curado de los materiales tratados, de acuerdo con los planos del proyecto y las instrucciones del Interventor.

#### 461.2 MATERIALES

##### 461.2.1 Agregados pétreos

Los agregados pétreos serán los resultantes de la pulverización mecánica de las capas de pavimento en el espesor indicado en el proyecto y ajustado por el Interventor cuando corresponda, los cuales deberán cumplir con la granulometría indicada en la Tabla 461.1.

Tabla 461.1  
Franja granulométrica de los agregados reciclados en frío en el lugar empleando ligantes bituminosos

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	
37.5 mm	1 1/2"	100
25.0 mm	1"	75-100
19.0 mm	3/4"	65-100
9.5 mm	3/8"	45-75
4.75 mm	No.4	30-60
2.00 mm	No 10	20-45
425 µm	No 40	10-30
75 µm	No.200	5-20

En el caso de que se requiera la adición de material pétreo para satisfacer el requisito de gradación, éste deberá cumplir con las características para material de adición para reciclado en frío, señaladas en la Tabla 400. 1 del Artículo 400, complementadas por las adicionales exigidas para base granular en la Tabla 300.1 del Artículo 300. Cuando haya contradicción entre los límites exigidos por las dos tablas, primarán los valores indicados en la Tabla 400.1

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 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) del agregado combinado por su índice de plasticidad, no podrá ser mayor de setenta y dos (72).

#### **461.2.2 Materiales bituminosos**

Para los reciclados en frío en el lugar con emulsión asfáltica, ésta será de rompimiento lento, del tipo CRL-1, 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 deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en el numeral 400.2.4 del Artículo 400 de las presentes especificaciones. Si se requiere una emulsión de diferentes características, de efecto regenerante por ejemplo, ella deberá ser objeto de una especificación particular. Se deberá 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 será de penetración 80-100, compatible con los agregados pétreos, el cual deberá cumplir con los requisitos de calidad establecidos en el numeral 400.2.2 del Artículo 400 de las presentes especificaciones. Si se requiere un cemento asfáltico de diferentes características, éste deberá 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 Pórtland, la cal hidratada y las cenizas volantes, cuyas características se deberán establecer en una especificación particular.

Si los llenantes son adicionados con el propósito de controlar la rotura de la emulsión asfáltica, no se considerarán como puzolanas y, en consecuencia, no habrá pago separado por su suministro.

#### **461.2.4 Aditivos mejoradores de adherencia entre los agregados y el asfalto**

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

#### **461.2.5 Agua**

El agua requerida para el humedecimiento previo de los agregados pétreos estará libre de materia orgánica y de elementos químicos que dificulten el proceso de mezclado y el curado de la mezcla. Su pH, medido según la norma ASTM D-1293, deberá estar entre cinco y medio y ocho (5.5-8.0) y

su contenido de sulfatos, expresado como  $\text{SO}_4^{=}$ , no deberá ser mayor de un gramo por litro (1 g/l). El contenido de sulfatos se determinará de acuerdo con la norma ASTM D-516.

El agua reconocida como potable se podrá emplear sin necesidad de ensayos de verificación.

### **461.3 EQUIPO**

En adición a lo que establece el numeral 400.3 del Artículo 400, el equipo para los trabajos aquí especificados deberá 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, será 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 deberá estar provista de un rotor de fresado de eje horizontal y deberá ser capaz de fresar el pavimento en la profundidad y ancho especificados, produciendo un material homogéneo en una sola pasada a velocidad constante. La máquina deberá 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 deberá tener la posibilidad de introducir los aditivos líquidos de manera uniforme y precisa. Deberá, además, estar equipada con un tacómetro acoplado al control de la bomba de caudal variable, que asegure que el ligante sólo 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 deberá 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 realizará desde depósitos móviles, de manera que no se produzcan paradas innecesarias de la máquina recicladora.

Los equipos de compactación deberán 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 definirá durante la fase de experimentación pero, en todo caso, estará 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, serán 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 deberán presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios dispondrán de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo

aconsejable que el dispositivo sea automático. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslapo de las huellas delanteras y traseras.

#### 461.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

##### 461.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

En caso de que se requiera la adición de material pétreo, para su explotación y elaboración rige lo especificado en el numeral 400.4.1 del Artículo 400.

##### 461.4.2 Estudio de los materiales por reciclar

Se realizará una inspección a la superficie por reciclar para comprobar los datos del reconocimiento del proyecto. Se tomarán muestras representativas de los materiales existentes en los diferentes tramos, comprobando el espesor y tipo de material en las diferentes capas. Como mínimo, se realizarán dos (2) perforaciones por kilómetro o por tramo diferenciado, si su longitud fuese menor.

Se tomarán muestras de material fresado en el espesor previsto en el 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 determinará la granulometría, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-213.

Los resultados del reconocimiento del terreno, de las perforaciones y de los ensayos de granulometría permitirán verificar que los tramos en los cuales se dividió la obra en los estudios del proyecto son suficientemente homogéneos en relación con los objetivos pretendidos para el reciclado. Se considerará 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 461.2, o cuando se detecte una variación manifiesta en el tipo de agregados.

Tabla 461.2

Tolerancias en la granulometría y en el espesor del material por reciclar para considerar que un tramo es homogéneo

CARACTERÍSTICA		TOLERANCIA
Granulometría (tolerancia respecto de la masa total del material por reciclar)	Porcentaje que pasa tamiz de 2 mm y mayores (No 10 y mayores)	± 6
	Porcentaje que pasa tamiz de 425 µm (No 40)	± 4
	Porcentaje que pasa tamiz de 75 µm	± 3
Espesor (variación en el espesor de la capa, en mm)	Capas asfálticas	25
	Capas granulares	50

Una vez comprobado que el material fresado cumple las condiciones establecidas, el Interventor aprobará el material y fijará 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 deberán 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 calidad de ejecución de las obras cumplan con los límites establecidos. Cuando la dispersión en la granulometría sea excesiva, se deberá estudiar si ella se corrige con la incorporación de agregados de adición.

Si resulta imposible cumplir en un tramo con estas tolerancias, el reciclado, en los términos que establece el presente Artículo, no resultará posible.

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

Al respecto, rige todo lo que sea pertinente del numeral 400.4.2 del Artículo 400.

El Constructor estimará la cantidad óptima teórica necesaria de ligante residual para la combinación de agregados de cada tramo homogéneo y determinará el tipo y porcentaje de emulsión asfáltica o cemento asfáltico espumado y de los aditivos y otros elementos por incorporar, de modo 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 establecerá la necesidad de incorporar agregados pétreos nuevos en la mezcla para corregir deficiencias granulométricas e indicará la proporción en que ellos deban intervenir.

El Constructor también definirá la necesidad de prehumedecer el material preparado para la mezcla y determinará las humedades más apropiadas de mezcla y compactación. La humedad de compactación se determinará mediante el ensayo modificado de compactación (norma de ensayo INV E-142) sobre el material por reciclar. La humedad óptima de compactación será, salvo instrucción en contrario del Interventor, la correspondiente a la óptima del ensayo menos un cinco por mil (0.5%) y menos el porcentaje de emulsión o cemento asfáltico espumado a incorporar en la mezcla. Esta humedad se ajustará, si fuese necesario, durante la fase de experimentación. Estas pruebas se deberán complementar con ensayos mecánicos adecuados para el diseño de la mezcla.

En el caso de reciclados con emulsión asfáltica, se utilizará para el diseño de la mezcla el ensayo de inmersión-compresión (anexo de la norma INV E-738), aplicándose los siguientes criterios como guías para la selección del contenido óptimo de ligante en la mezcla reciclada:

- Resistencia de probetas curadas en seco  $\geq 20 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia conservada tras curado húmedo  $\geq 75\%$

En el caso de reciclados con cemento asfáltico espumado, el diseño de la mezcla se efectuará a través de la medida de la resistencia a la tensión indirecta, de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma de ensayo INV E-785, estableciéndose los siguientes parámetros para la preparación del espumado del asfalto:

- Relación de expansión  $\geq 10$
- Vida media (segundos)  $\geq 10$

Para la selección del contenido óptimo de cemento asfáltico en la mezcla reciclada, se aplicarán los siguientes criterios:

- Resistencia de probetas curadas en seco  $\geq 2.5 \text{ kg/cm}^2$
- Resistencia conservada tras curado húmedo  $\geq 50 \%$

En ambos casos, el porcentaje óptimo de ligante residual será aquel que, cumpliendo las exigencias indicadas, permita alcanzar el valor máximo de resistencia tras curado húmedo.

Se pueden utilizar otros procedimientos para el diseño de las mezclas. En tal caso, los métodos de diseño y los criterios de selección del porcentaje óptimo de ligante se deberán definir en una especificación particular.

El informe de diseño que presente el Constructor, en el cual propondrá la fórmula de trabajo por aplicar en cada tramo homogéneo, para consideración y eventual aprobación del Interventor, contendrá, 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 el peso seco 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 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 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

La fórmula de trabajo establecida en el laboratorio se podrá ajustar con los resultados de las pruebas realizadas durante la fase de experimentación. Igualmente, si durante la ejecución de las obras varía la procedencia de alguno de los componentes de la mezcla, se requerirá el estudio de una nueva fórmula de trabajo.

Los trabajos no se podrán 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.

#### **461.4.4 Remoción de obstáculos**

Antes de proceder a la disgregación del pavimento, se deberán 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 éstas produzcan daño a la máquina recicladora.

La profundidad de demolición de las estructuras será la necesaria para proporcionar una altura libre suficiente entre la tapa temporal de ellas y la superficie del pavimento existente, de manera de permitir la operación libre y continua de la recicladora.

Las tapas temporales de las estructuras se deberán asegurar adecuadamente a ellas y deberán tener la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos generados durante el proceso de reciclado.

La localización de las estructuras demolidas parcial y temporalmente deberá 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 deberá efectuar los bacheos en las zonas que le indique el Interventor, las cuales deberán 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 deberán 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 numeral 330.5.2.2 del Artículo 330 de las presentes especificaciones.

Inmediatamente antes de proceder a la disgregación del pavimento, se deberá 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 disgregará la capa bituminosa existente y la mezclará en una sola operación con parte de la base subyacente en el espesor de diseño o en el ordenado por el Interventor y, como resultado de dicho proceso, el material deberá cumplir con la gradación establecida en el numeral 461.2.1 Si no se cumple este requisito, se detendrán 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 deberá ser completada antes de proceder a la adición y 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, será establecido por el Interventor durante la fase de experimentación dependiendo de las condiciones particulares de la obra.

Todo sobretamaño que no haya sido reducido durante el proceso, será retirado y dispuesto en el sitio que haya autorizado el Interventor.

Si alguna sección de pavimento pulverizado debe ser abierta temporalmente al tránsito, deberá ser previamente compactada y conformada a satisfacción del Interventor.

En las áreas donde resulte imposible la operación de la máquina recicladora, el material se demolerá con otros medios mecánicos aprobados por el Interventor y los productos así obtenidos se trasladarán a un centro de acopio autorizado. Estas áreas se deberán 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 deberá 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 deberá retirar provisionalmente la parte de material con la que se construirá la capa superior, mientras se recicla, extiende, compacta y cura la capa inferior. Para cada capa se aplicarán los procedimientos de ejecución y control descritos en este 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 deberán 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 deberán limpiar los difusores y, como mínimo, dos (2) veces por día. Las operaciones de abastecimiento de agua y productos bituminosos a la máquina se deberán realizar sin afectar la circulación en los carriles que se mantengan en servicio.

La aplicación de los aditivos puzolánicos, en la cantidad especificada, se hará 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 aplicarán sobre el material pulverizado en cada capa.

Cuando se trabaje en una sola capa, y no se requiera la adición de agregados nuevos, la máquina recicladora ejecutará 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 realizará por franjas paralelas que se traslaparán 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 adoptará la misma precaución y el desfase en la operación de ellos deberá ser el menor posible para evitar la formación de una junta longitudinal.

La operación de extensión se deberá detener si se observa que se produce segregación o contaminación y se procederá a efectuar las correcciones necesarias antes de continuar los trabajos.

Cuando se deba trabajar en dos capas, la superior sólo se podrá extender cuando la primera haya sido aceptada a satisfacción por el Interventor y, además, haya alcanzado el nivel de curado exigido en el numeral 461.4.12. Como guía general, una capa reciclada estará 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 deberá ser pulverizado, mezclado y compactado en la misma jornada de trabajo.

Toda mezcla afectada por las aguas lluvias durante su elaboración o después de compactada, será corregida por el Constructor si, a juicio del Interventor, ello resulta posible; en caso contrario, deberá ser reemplazada por una de calidad satisfactoria. En ninguno de los dos casos habrá lugar a pago adicional alguno por parte del Instituto Nacional de Vías.

#### **461.4.9 Compactación de la mezcla**

Extendida la mezcla, se procederá 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 podrá transcurrir más de media hora desde su extensión hasta el inicio de la compactación.

La compactación se realizará longitudinalmente, comenzando por el borde más bajo de la franja que se esté tratando, de manera continua, hasta alcanzar la masa unitaria especificada en este Artículo. Al compactar cada franja se efectuará un traslapo de no menos de quince centímetros (15 cm) con la precedente.

Los rodillos deberán llevar su rueda motriz hacia el frente; los cambios de dirección se harán sobre la mezcla ya compactada y los cambios de sentido se efectuarán con suavidad.

Siempre que el Interventor lo considere necesario, se aplicarán 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 permitirá 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 efectuará 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 realizará la siguiente mientras el borde de la primera se encuentre en condiciones de ser compactado; de lo contrario, se ejecutará una junta longitudinal, aplicando una capa delgada y uniforme de emulsión asfáltica antes de extender la nueva franja. Se procurará 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 efectuarán 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 podrá 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 podrá realizar antes de tres (3) días, aunque el plazo preciso será definido por el Interventor.

#### **461.4.12 Curado y protección superficial de la capa compactada**

Las capas recicladas en frío requieren un período de curado para su maduración, antes de que se autorice su cobertura. El tiempo de curado deberá 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 (10) días en el caso de reciclados con emulsión asfáltica y de cinco (5) días cuando se utilice cemento asfáltico espumado, dependiendo de las condiciones climáticas.

Durante dicho lapso, el Constructor aplicará 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 realizarán de acuerdo con el Artículo 422 de estas especificaciones, excepto que la emulsión estará diluida en agua de manera que el ligante residual sea aproximadamente treinta por ciento (30%) y la dosificación del ligante estará entre dos y tres décimas de kilogramo de ligante residual por metro cuadrado (0.2 - 0.3 kg/m<sup>2</sup>).

#### **461.4.13 Conservación**

El Constructor deberá conservar la capa de pavimento reciclado en frío en perfectas condiciones hasta que se construya la capa superior prevista en el proyecto. Todo daño que se presente deberá ser corregido, a su costa, a plena satisfacción del Interventor.

#### **461.4.14 Limitaciones en la ejecución**

No se permitirán trabajos de reciclado en frío 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 en frío en el lugar con ligantes bituminosos se deberán efectuar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera culminar el proyecto en un tiempo especificado por el INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el Interventor podrá autorizar el trabajo en horas de oscuridad, siempre que el Constructor garantice el suministro y operación de un equipo de iluminación artificial que resulte satisfactorio para aquel. Si el Constructor no ofrece esta garantía, no se le permitirá el trabajo nocturno y deberá poner a disposición de la obra el equipo y personal adicionales para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

#### **461.4.15 Manejo ambiental**

En relación con el manejo ambiental, regirá todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del Artículo 400 de estas especificaciones

#### **461.4.16 Reparaciones**

Rige lo especificado en el numeral 440.4.17 del Artículo 440.

### **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**

Si el reciclado se realiza con emulsión asfáltica, a la llegada de cada carrotanque con emulsión al sitio de los trabajos, el Constructor deberá entregar al Interventor una certificación original, expedida por el fabricante de la emulsión, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, el tipo y velocidad de rotura, así como los resultados de los ensayos básicos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deberán satisfacer las condiciones especificadas en el numeral 400.2.4 del Artículo 400 de las presentes especificaciones o las que se establezcan en la especificación particular que gobierne los trabajos.

El Interventor se abstendrá de aceptar el empleo de suministros de emulsión asfáltica que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Además, efectuará las verificaciones exigidas en el numeral 411.5.2 del Artículo 411 de estas especificaciones. En todos los casos, guardará una muestra para ensayos ulteriores de contraste, cuando el Constructor o el fabricante manifiesten inconformidad con los resultados iniciales.

En relación con los resultados de las pruebas, no se admitirá ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tabla 400.5 del Artículo 400 de las presentes especificaciones o en la especificación particular, según corresponda.

Cuando el reciclado se realice mediante la técnica del cemento asfáltico espumado, a la llegada de cada carrotanque con cemento asfáltico al sitio de los trabajos, el Constructor deberá entregar al Interventor una certificación original, expedida por el fabricante del producto, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, el tipo de asfalto, así como los resultados de los ensayos básicos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega, los cuales deberán satisfacer las condiciones especificadas en el numeral 400.2.2 del Artículo 400 de las presentes especificaciones o las que se establezcan en la especificación particular que gobierne los trabajos.

El Interventor se abstendrá de aceptar el empleo de suministros de cemento asfáltico que no se encuentren respaldados por la certificación del fabricante. Además, efectuará las verificaciones exigidas en el numeral 410.5.2 del Artículo 410 de estas especificaciones. En todos los casos, guardará una muestra para ensayos ulteriores de contraste, cuando el Constructor o el fabricante manifiesten inconformidad con los resultados iniciales.

En relación con los resultados de las pruebas, no se admitirá ninguna tolerancia sobre los límites establecidos en la Tabla 400.3 del Artículo 400 de las presentes especificaciones o en la especificación particular, según corresponda.

Además, realizará u ordenará pruebas para verificar la relación de expansión y la vida media del asfalto espumado.

#### **461.5.2.2 Calidad del agua**

Siempre que el Interventor tenga alguna incertidumbre en relación con la calidad del agua utilizada en el reciclado en frío con ligantes bituminosos, verificará su pH y su contenido de sulfatos. Sus resultados deberán satisfacer las exigencias del numeral 461.2.5 para permitir su empleo. Si no las satisfacen, se impedirá el uso posterior de dicha agua y se someterán a observación los tramos ya elaborados con ella.

#### **461.5.2.3 Calidad de los aditivos y elementos de aporte**

El Interventor realizará u ordenará las pruebas requeridas para verificar la calidad de estos productos, cada vez que lo considere necesario. El incumplimiento de las especificaciones pertinentes de estos productos, implicará el rechazo del envío correspondiente.

#### **461.5.2.4 Calidad de los agregados pétreos de adición**

En caso que se requieran agregados pétreos nuevos, de cada procedencia de ellos y para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro (4) muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:

La granulometría, según norma de ensayo INV E-213

La resistencia a la abrasión, según la norma de ensayo INV E-218

La resistencia a la abrasión, según la norma de ensayo INV E-238. (se exige solo en proyectos para tránsitos NT2 y NT3)

El diez por ciento (10%) de finos, según la norma de ensayo INV E-224. (se exige solo en proyectos para tránsito NT3)

- Las pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, según la norma de ensayo INV E-220
- Las partículas fracturadas mecánicamente, según norma de ensayo INV E-227
- La angularidad de la fracción fina, según norma de ensayo INV E-239
- Partículas planas y alargadas, según la norma de ensayo INV E-240
- La plasticidad, según normas de ensayo INV E-125 y E-126
- El equivalente de arena, según la norma de ensayo INV E-133
- El valor de azul de metileno, según norma de ensayo INV E-235
- Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable, norma de ensayo INV E-211
- La adhesividad con el ligante asfáltico, según norma de ensayo INV E-738
- El valor de CBR, medido según la norma de ensayo E-148

Para permitir el uso del agregado, los resultados de estos ensayos deberán cumplir las exigencias que, para el material de adición de reciclados en frío, contempla la Tabla 400.1 del Artículo 400. Para los ensayos citados en la lista anterior, que no se encuentren contemplados en dicha Tabla, se aplicarán los criterios para bases granulares que se presentan en la Tabla 300.1 del Artículo 300.

Durante la etapa de producción, el Interventor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. Además, adelantará las verificaciones periódicas indicadas en la Tabla 461.3.

Así mismo, el Interventor podrá efectuar las pruebas adicionales que considere necesarias para tener certeza de que la calidad de los agregados de adición se ajusta a las exigencias del presente Artículo.

El Interventor podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la Tabla 461.3 (excepto las comprobaciones del valor de azul de metileno, las cuales se realizarán sólo cuando no se cumpla el equivalente de arena) siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada hubiese aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

En ningún caso se permitirá el uso de agregados que no satisfagan los requisitos mencionados en el presente Artículo. En la eventualidad de que alguna prueba dé lugar a un resultado no satisfactorio, se tomarán dos (2) muestras adicionales del material y se repetirá la prueba. Los resultados de ambos ensayos deberán ser satisfactorios o, de lo contrario, el Interventor impedirá el uso del volumen de agregado al cual representen dichos ensayos.

Tabla 461.3  
Verificaciones periódicas sobre los agregados de adición

ENSAYO		NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
<b>Composición</b>			
Granulometría		E-213	1 por jornada
<b>Dureza</b>			
Desgaste Los Ángeles (Gradación A)	- En seco, 500 revoluciones - En seco, 100 revoluciones - Después de 48 horas de inmersión 500 revoluciones	E-218	1 por mes
Micro-Deval (1)	- Agregado grueso	E-238	1 por mes
10% de finos (2)	- Seco y húmedo	E-224	1 por mes
<b>Durabilidad</b>			
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos		E-220	1 por mes
<b>Limpieza</b>			
Límite líquido		E-125	1 por jornada
Índice de plasticidad		E-126	1 por jornada
Equivalente de arena		E-133	1 por semana
Valor de azul de metileno		E-235	cuando corresponda
Terrones de arcilla y partículas deleznable		E-211	1 por semana
<b>Geometría de las partículas</b>			
Partículas fracturadas mecánicamente		E-227	1 por jornada
Angularidad del agregado fino		E-239	1 por jornada
Partículas planas y alargadas		E-240	1 por semana
<b>Resistencia</b>			
CBR		E-148	1 por mes

(1) No es necesario en obras para vías con tránsito de diseño NT1

(2) No es necesario en obras para vías con tránsito de diseño NT1 y NT2

#### 461.5.2.5 Composición de la mezcla

Para efectos del control, se considerará como lote el volumen de material que resulte de aplicar los criterios del numeral 461.5.2.7.

##### a. Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, se determinará el contenido de asfalto de ellas, empleando la norma de ensayo INV E-732.

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (ART%) tendrá una tolerancia de uno por ciento (1%) 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.

$$ARF\% - 1.0\% \leq ART\% \leq ARF\% + 1.0\%$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (ARI%), no podrá diferir del valor medio del lote (ART%) en más de uno por ciento (1.0%), admitiéndose sólo un (1) valor por fuera de este intervalo.

$$ART\% - 1.0\% \leq ARI\% \leq ART\% + 1.0\%$$

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 habrá problemas de comportamiento de la capa reciclada.

### b. Granulometría de los agregados

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se determinará la composición granulométrica de los agregados, mediante la norma de ensayo INV E-782. Las curvas obtenidas deberán ajustarse a la establecida al determinar la fórmula de trabajo, con las tolerancias que se indican en la Tabla 461.4.

Tabla 461.4

Tolerancias granulométricas de los agregados para reciclado en frío en el lugar empleando ligantes bituminosos

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE % SOBRE EL PESO SECO DE LOS AGREGADOS
2.00 mm (No.10) y mayores	± 6
425 µm (No.40)	± 4
75 µm (No.200)	± 3

Cuando los valores obtenidos incumplan este requisito, el Constructor deberá 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 someterá a las pruebas mencionadas en el numeral 461.4.3. Si todos los requisitos allí indicados no se cumplen, se rechazará el lote al cual correspondan esas muestras.

### 461.5.2.6 Calidad de la mezcla

#### a. Resistencia

Con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se moldearán probetas (tres por muestra) para verificar en el laboratorio su resistencia en el ensayo de inmersión-compresión (anexo de la norma INV E-738) cuando el reciclado se ejecute con emulsión asfáltica o en el ensayo

de tensión indirecta (INV E-785) cuando se realice con asfalto espumado. Tres (3) de ellas se curarán en seco y tres (3) bajo condición húmeda.

El promedio de la resistencia de las tres (3) probetas sometidas a curado seco ( $R_m$ ) deberá ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90%) de la resistencia seca de la mezcla definitiva de trabajo ( $R_t$ ). Un criterio similar se aplicará para las probetas sometidas a curado húmedo.

$$R_m \geq 0.9 R_t$$

Además, la resistencia de cada probeta ( $R_i$ ) deberá ser igual o superior al ochenta por ciento (80%) del valor medio correspondiente ( $R_m$ ), admitiéndose sólo un (1) valor individual por debajo de ese límite.

$$R_i \geq 0.8 R_m$$

A su vez, la resistencia conservada promedio ( $R_{cm}$ ) deberá 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 rechazará el lote al cual representan las muestras. En caso de rechazo, la capa reciclada correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y corregida o reemplazada a satisfacción del Interventor, todo ello a cargo y costa del Constructor.

Si el incumplimiento se presenta en dos (2) lotes consecutivos, se deberán 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**

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

- Quinientos metros lineales (500m) de pavimento reciclado en frío en el lugar, en todo el ancho de la vía.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m<sup>2</sup>) de pavimento reciclado en frío en el lugar.
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

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

Además, el Interventor deberá realizar las siguientes verificaciones:

**a. Compactación**

Las determinaciones de la densidad seca de la capa compactada se realizarán en una proporción de cuando menos cinco (5) por lote, las cuales se efectuarán por alguno de los métodos descritos en las normas INV E-161 y E-164. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar, según la norma de ensayo INV E-730, pero de manera que se realice al menos una prueba por hectómetro.

La densidad seca promedio de los ensayos en el terreno que integran la muestra que representa al lote ( $D_m$ ), deberá ser comparada con la máxima de referencia obtenida en el ensayo modificado de compactación (norma de ensayo INV E-142), efectuado durante el diseño de la mezcla ( $D_e$ ).

Si  $D_m - (k \times s) \geq 0.95 D_e$  se acepta el lote

Si  $D_m - (k \times s) < 0.95 D_e$  se rechaza el lote

Siendo:

$D_m$ : Valor promedio de los resultados de los ensayos en el terreno que integran la muestra que representa al lote.

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

$D_i$ : Resultado de un ensayo.

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

$k$ : Factor que establece el límite inferior del intervalo de confianza en el que, con una probabilidad de 90%, se encuentra la densidad seca del lote. Este factor depende del número de ensayos ( $n$ ) que integran la muestra y su valor se indica en la Tabla 461.5.

Tabla 461.5  
Valores del factor k

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

$s$ : Desviación estándar de la muestra.

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

$D_e$ : Valor máximo de la densidad seca del material, obtenido según la norma de ensayo INV-142 y corregido por presencia de partículas gruesas, siempre que el material lo requiera, según la norma de ensayo INV-228.

Las comprobaciones de la compactación se realizarán 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 en frío correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y corregida a satisfacción del Interventor, todo ello a cargo y costa del Constructor.

#### **b. Espesor**

Sobre la base de los sitios escogidos para el control de la compactación, el Interventor determinará el espesor medio de la capa compactada ( $e_m$ ), el cual no podrá ser inferior al de diseño ( $e_d$ ).

$$e_m \geq e_d$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual ( $e_i$ ), deberá ser, cuando menos, el noventa por ciento (90%) del espesor de diseño, admitiéndose sólo un (1) valor por debajo de dicho límite, siempre y cuando este valor sea superior al ochenta y cinco por ciento (85%) del espesor de diseño ( $e_d$ ).

$$e_i \geq 0.9 e_d$$

Si se incumple alguno de estos requisitos, se rechazará 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 el Instituto Nacional de Vías.

#### **c. Lisura**

La superficie acabada no podrá 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) colocada tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el Interventor, los cuales no podrán corresponder a puntos donde haya cambios de pendiente transversal de acuerdo con el diseño.

#### **d. Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al Constructor**

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa de pavimento reciclado en frío en el lugar con productos bituminosos, por modificaciones en el diseño estructural o por fuerza mayor u otras causas inequívocamente no imputables al Constructor, el Interventor delimitará el área afectada y ordenará las correcciones necesarias, por cuyo trabajo autorizará pago al Constructor, al respectivo precio unitario del contrato.

**e. Medidas de deflexión**

El Interventor verificará la solidez de la estructura construida al nivel de pavimento reciclado en frío en el lugar con productos bituminosos, realizando medidas de deflexión con la viga Benkelman, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-795. Los resultados de las medidas, que se efectuarán en tresbolillo cada veinte metros (20 m), no constituirán base para la aceptación o el rechazo de la capa construida, sino que servirán al Instituto Nacional de Vías 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 del pavimento reciclado en frío en el lugar con productos bituminosos, donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias admitidas en esta especificación, deberán ser corregidas por el Constructor, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a satisfacción de éste.

**461.6 MEDIDA**

Rige lo descrito en el numeral 400.6.2 del Artículo 400.

**461.7 FORMA DE PAGO**

Rige lo especificado en el numeral 400.7.3 del Artículo 400.

La demolición de estructuras de servicios públicos a la cual se hace referencia en el numeral 461.4.4 y su posterior reconstrucción se pagarán de acuerdo con la(s) especificación(es) particular(es) que se redacte(n) para estas actividades. También será objeto de pago con cargo a una especificación particular, la puzolana que se incluya en la mezcla para complementar la reactividad, de acuerdo con lo indicado en el numeral 461.2.3.

**ÍTEM DE PAGO**

461.1 Pavimento reciclado en frío en el lugar con emulsión asfáltica	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )
461.2 Pavimento reciclado en frío en el lugar con cemento asfáltico espumado	Metro cúbico (m <sup>3</sup> )