

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

ARTÍCULO 461 – 13

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

461.2.1.1 Agregados pétreos resultantes de la pulverización del pavimento

Los agregados pétreos resultantes de la pulverización mecánica de las capas de pavimento en el espesor indicado en el proyecto y ajustado por el Interventor cuando corresponda, 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

MATERIAL	TAMIZ (mm / U.S. Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.00	0.425	0.075
	1 ½"	1"	¾"	⅜"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA							
PULVERIZADO DEL PAVIMENTO EXISTENTE, 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, éste deberá 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 (%)	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 sulfatos de magnesio, máximo (%)	E-220	18	18	18
- Agregado grueso				
- Agregado fino	18	18	18	
Limpieza, gradación combinada (F)				
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	N. P	N,P	N.P
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	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 de inmersión, mínimo.	E-148	80	80	100
Adhesividad, gradación combinada				
Resistencia conservada inmersión – compresión, mínimo (%)	E - 622	50	50	50

Nota 1: El ensayo de valor de azul de metileno solo será exigido cuando el equivalente de arena del material de adición sea inferior a treinta (30), pero igual o superior a veinticinco (25)

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 μ 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 Artículo 411. 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 Artículo 410. 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 hidráulico, 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 Artículo 412. La dosificación y dispersión homogénea del aditivo, deberán tener la aprobación del Interventor.

El Constructor deberá garantizar que su incorporación no producirá ningún efecto nocivo a los agregados, al ligante asfáltico o a la mezcla. Cualquier efecto adverso en el comportamiento del pavimento, que se derive del empleo del aditivo, será de responsabilidad exclusiva del Constructor, quien deberá efectuar todas las reparaciones que requiera la mezcla compactada, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a satisfacción de éste, sin cargo alguno para el Instituto Nacional de Vías.

461.2.5 Agua

El agua requerida para el humedecimiento previo de los agregados pétreos deberá ser limpia y libre de materia orgánica. Puede ser agua potable; si no lo es, deberá cumplir los requisitos que se indican en la Tabla 461 - 3.

Tabla 461 - 3. Requisitos del agua no potable para reciclados en frío en el lugar empleando ligantes bituminosos

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO
pH	D 1293	5.5 - 8.0
Contenido de sulfatos, expresado como SO_4^- , g/l máximo	D 516	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 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 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 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

Rige lo establecido en el Artículo 105, numeral 105.13.3.

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 el 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 - 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 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.

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 (No. 10) y mayores	+/- 6
	Porcentaje que pasa tamiz de 0.425 mm (No. 40)	+/- 4
	Porcentaje que pasa tamiz de 0.075 mm (No. 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, 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

461.4.3.1 Generalidades

Rige todo lo que resulte aplicable en el 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 el 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.

Las mezclas de reciclado en frío se diseñarán siguiendo los métodos indicados en la Tabla 461 - 5.

Tabla 461 - 5. Método de diseño para mezclas de reciclado de pavimentos asfálticos en frío 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 métodos de diseño y los criterios de selección del porcentaje óptimo de ligante se deberán definir en una especificación particular.

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 elaborarán mezclas con diferentes contenidos de ligante por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos 4 contenidos de ligante), para someterlas al ensayo de inmersión-compresión. El contenido óptimo de ligante se determinará 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 $R_c=R_h/R_s$, mínimo (%)		75

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

461.4.3.2.2 Diseño de mezcla para reciclado con asfalto espumado

Se elaborarán mezclas con diferentes contenidos de ligante por encima y por debajo del óptimo teórico (al menos 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 $R_c=R_h/R_s$, mínimo (%)		50

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

461.4.3.3 Informe de diseño de la mezcla

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 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 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 Artículo 330.

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 traslape 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, 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/m²).

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 la 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.

461.4.16 Reparaciones

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, deberán ser corregidos por el Constructor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías, de

acuerdo con las instrucciones del Interventor. El Constructor deberá 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

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para el cemento asfáltico serán los establecidos en los Artículos 410 o 411, según corresponda.

En el caso de reciclado con asfalto espumado, se realizarán 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 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 de otros elementos de aporte

Se realizarán 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, implicará 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 realizarán los siguientes controles:

461.5.2.4.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro (4) muestras y a cada fracción de ellas se le deberán realizar los ensayos que se encuentran indicados en la Tabla 461 - 2. Los resultados de estas pruebas deberán 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 examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También, ordenará acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y vigilará la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, efectuará las verificaciones de calidad indicadas en la Tabla 461 - 8.

Tabla 461 - 8. Ensayos de verificación sobre los agregados de adición

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Composición (F)		
Granulometría	E-123	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-125,126	1 por jornada
Equivalente de arena	E-133	1 por semana
Valor de Azul de metileno (Nota 1)	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

Nota 1: En caso de que no se cumpla el valor mínimo de equivalente de arena señalado en la Tabla 461 - 2.

El Interventor podrá autorizar la reducción de la frecuencia de los ensayos a la mitad 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 emplearán 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 insatisfactorio, se tomarán dos muestras adicionales del material y se repetirá la prueba. Los resultados de ambos ensayos de comprobación deberán ser satisfactorios o, de lo

contrario, el Interventor no autorizará la utilización del material al cual representen dichos ensayos.

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 461.5.2.7.1.

Cuantitativamente, se realizarán 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 determinará el contenido de asfalto residual (Norma de ensayo INV E-732).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (ART %) tendrá 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.

$$\text{ARF}\% - 1.0\% \leq \text{ART}\% \leq \text{ARF}\% + 1.0\% \quad [461.1]$$

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.

$$\text{ART}\% - 1.0\% \leq \text{ARI}\% \leq \text{ART}\% + 1.0\% \quad [461.2]$$

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 habrá problemas de comportamiento de la capa reciclada.

En caso de rechazo, la capa reciclada correspondiente al lote controlado deberá ser levantada y corregida o reemplazada a satisfacción del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

461.5.2.5.2 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 se deberán 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 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.

Tabla 461 - 9. Tolerancias granulométricas de los agregados para reciclado en frío en el lugar empleando ligantes bituminosos

TAMIZ	TOLERANCIA EN PUNTOS DE % SOBRE LA MASA SECA DE LOS AGREGADOS
2.00 mm (No. 10) y mayores	+/- 6
0.425 mm (No. 40)	+/- 4
0.075 mm (No. 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 moldearán probetas (tres 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 (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 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 aplicará para las probetas sometidas a curado húmedo.

$$R_m \geq 0.90 R_d \quad [461.3]$$

Además, la resistencia de cada probeta (R_i) deberá 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:

$$R_i \geq 0.80 R_d \quad [461.4]$$

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, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

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

461.5.2.7.1 Tamaño del lote

Se considerará como "lote" que se aceptará o rechazará en bloque, la menor área construida que resulte de los siguientes criterios, para una sola capa de mezcla asfáltica reciclada:

- Quinientos metros lineales (500 m) de mezcla colocada en todo el ancho de la calzada;
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3500 m²) de mezcla colocada;
- La obra ejecutada en una jornada de trabajo.

Además, sobre cada lote se deberán realizar las siguientes verificaciones:

461.5.2.7.2 Aspectos generales

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.

461.5.2.7.3 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se elegirán al azar, según la norma de ensayo INV E-730, "Selección al azar de sitios para la toma de muestras", pero de manera que se realice al menos una (1) prueba por hectómetro. Se deberán efectuar, como mínimo, cinco (5) ensayos por lote.

Para el control de la compactación de una capa de pavimento asfáltico reciclado en frío con ligantes bituminosos, se deberá 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:

$$GC_i = \frac{V_{d,i}}{V_{d,máx}} \times 100 \quad [461.5]$$

Material con sobretamaños:

$$GC_i = \frac{V_{d,i}}{C V_{d,máx}} \times 100 \quad [461.6]$$

Siendo:

GC_i : Valor individual del grado de compactación, en porcentaje;

$\gamma_{d,i}$: 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, E-162 y E-164, sin efectuar corrección de ella por presencia de sobretamaños de manera que corresponda a la muestra total.

$\gamma_{d,m\acute{a}x}$: 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.

$C\gamma_{d,m\acute{a}x}$: 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) (PFG) – 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 ($C\gamma_{d,m\acute{a}x}$) que se use para calcular el grado de compactación individual GC_i se obtendrá, para cada sitio, a partir del contenido de sobretamaños, P_{FG} , presente en ese sitio.

Para la aceptación del lote se aplicarán los siguientes criterios:

$GC_i(90) \geq 95.0 \%$	se acepta el lote	[461.7]
-------------------------	-------------------	---------

$GC_i(90) < 95.0 \%$	se rechaza el lote	[461.8]
----------------------	--------------------	---------

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 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 y corregida a satisfacción del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

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 determinará el espesor promedio de la capa compactada (e_m), el cual no podrá ser inferior al espesor de diseño (e_d).

$e_m \geq e_d$	[461.9]
----------------	---------

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (e_i) deberá ser, como mínimo, igual al

noventa por ciento (90 %) del espesor de diseño, admitiéndose un (1) solo valor por debajo de dicho límite, siempre que este último valor sea igual o mayor al ochenta y cinco por ciento (85 %) del espesor de diseño.

$$e_i \geq 0.90 e_d$$

[461.10]

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.

En caso de rechazo, la capa de pavimento reciclado en frío correspondiente al lote controlado deberá ser levantada y corregida a satisfacción del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

461.5.2.7.5 Planicidad

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), según la norma de ensayo INV E-793; la regla se colocará 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.

Todas las áreas donde los defectos de terminación excedan estas tolerancias, deberán ser corregidas por el Constructor, de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a satisfacción de éste, sin que ello genere costo adicional alguno para el Instituto Nacional de Vías.

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 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.

461.5.2.7.7 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 de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a satisfacción de éste, sin que ello genere costo adicional alguno para el Instituto Nacional de Vías.

461.6 MEDIDA

Rige lo descrito en el numeral 400.6 y en particular en el sub-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 sub-numeral 400.7.5 del Artículo 400.

El precio unitario deberá incluir, también, costo del retiro provisional de la parte del material con la que se construirá 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 deberá 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 pagarán 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 pagarán 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 pagará como se indique en una especificación particular.

461.8 ÍTEM DE PAGO

461.1 Pavimento reciclado en frío en el lugar con emulsión asfáltica	Metro cúbico (m ³)
461.2 Pavimento reciclado en frío en el lugar con asfalto espumado	Metro cúbico (m ³)