

MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL

ARTÍCULO 442P – 17

442P.1 DESCRIPCIÓN

Este trabajo consiste en la explotación, elaboración, transporte, colocación y compactación de una o más capas de Mezcla Asfáltica Natural en vías con un nivel de tránsito NT1, de acuerdo con esta especificación y de conformidad con los alineamientos, cotas, secciones y espesores indicados en los planos o determinados por el Interventor.

Las capas asfálticas en función de su posición dentro de la estructura del pavimento se clasifican en rodadura, Intermedia y Base (**Tabla 442P-1**). Los documentos del proyecto establecerán los tipos y calidades de las capas asfálticas que componen la estructura.

Tabla 442P-1 Denominación de las capas asfálticas construidas con Mezclas Asfálticas Naturales

TIPO	DESCRIPCIÓN
Rodadura	Capa superior
Intermedia	Capa subyacente a la rodadura, en estructuras con 2 o más capas asfálticas
Base	Capa o capas subyacentes a la intermedia, en estructuras con 3 o más capas asfálticas

442P.2 MATERIALES

442P.2.1 Agregados pétreos

La Mezcla Asfáltica Natural es un material compuesto esencialmente por arenas finas y conglomerado que están impregnadas de asfalto, siendo este parámetro común para la mayoría de los depósitos que se encuentran en el territorio colombiano. El material pétreo presente en la mezcla asfáltica natural deberá estar exento de materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial. Los agregados de aporte utilizados para cumplir los requerimientos granulométricos deberán satisfacer plenamente los requisitos establecidos en el numeral 400.2.1 del Artículo 400-13 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías, versión 2013. Independientemente de su

procedencia, los agregados deberán estar exentos de materia orgánica, terrones de arcilla o cualquier otra sustancia que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa asfáltica.

La distribución granulométrica de los agregados pétreos de la mezcla asfáltica en su estado natural (tal como sale de la mina) tendrá un tamaño máximo de 19 mm (3/4") y únicamente será aceptada si la mezcla asfáltica cumple con todos y cada uno de los requerimientos exigidos en la **Tabla 442P-8**. De igual manera, la estructura de los pétreos resultante de la combinación de las distintas fracciones del material de aporte con la mezcla asfáltica natural seleccionada (granulometría combinada) para la construcción de la capa asfáltica, deberán presentar una gradación que se ajuste a alguna de las franjas señaladas en la **Tabla 442P-2**. El análisis granulométrico se deberá efectuar de acuerdo con la norma de ensayo INV E-213 de las Normas de Ensayo de Materiales de Construcción del Instituto Nacional de Vías, versión 2013.

La gradación por emplear se deberá indicar en los documentos técnicos del proyecto. El Constructor propondrá al Interventor una "Fórmula de Trabajo" la cual se deberá ajustar durante la construcción de la capa con las tolerancias que se indican en la **Tabla 442P-2**, pero sin permitir que la curva se salga de la franja adoptada.

Los agregados pétreos resultantes no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente puedan darse en la zona de empleo. Tampoco podrán con el agua dar origen a disoluciones que puedan causar daños a estructuras, a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua, y deberán cumplir los requisitos de calidad que se indican en la **Tabla 442P-3**.

El Constructor como responsable de los materiales que suministre para la ejecución de los trabajos, deberá realizar todos los ensayos necesarios para establecer la calidad e inalterabilidad de los agregados a utilizar, independiente y complementariamente de los que taxativamente se exigen en esta especificación.

Tabla 442P-2 Franjas granulométricas de los agregados combinados para la construcción de capas asfálticas con una mezcla asfáltica natural

TIPO DE GRADACIÓN	TAMIZ (mm/ U.S Standard)								
	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	0.300	0.075
	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
% PASA									
MAN-38	100	80-95	-	62-77	-	45-60	35-50	13-23	3-8
MAN-25	-	100	80-95	-	60-75	47-62	35-50	13-23	3-8
MAN-19	-	-	100	80-95	-	50-65	35-50	13-23	3-8
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	4%						3%		1%

Tabla 442P-3 Requisitos de los agregados pétreos combinados para la construcción de capas asfálticas con una mezcla asfáltica natural

CARACTERÍSTICA	Norma de Ensayo INV	REQUISITO
Dureza, agregado grueso (o)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo (%) - Capa de: rodadura / intermedia	E – 218-13	25 / 35
Coeficiente de pulimiento acelerado para rodadura, Mínimo	E – 232-13	0.45
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio, Máximo (%)	E-220-13	18
Limpieza, agregado grueso (F)		
Impurezas en agregado grueso, máximo (%)	E-237-13	0.5
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125-13 y E-126-13	7
Equivalente de arena, mínimo (%) (Nota 1)	E-133-13	50
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235-13	10
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1, máximo (%)	E-240-13	10
Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara: rodadura / intermedia - Dos caras: rodadura / intermedia	E-227-13	75 / 60
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina, método A, mínimo (%) - Capa de: rodadura / intermedia	E-239-13	40 / 35
Adhesividad (O)		
Agregado grueso: Cubrimiento de los agregados con materiales asfálticos en presencia del agua hirviendo (%)	E-757-13	Reportar
Agregado fino: adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos (método Riedel-Weber), índice mínimo	E - 774-13	4

Nota 1: El equivalente de arena será el del agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones (incluido el llenante mineral), según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. En caso de que no se cumpla el valor mínimo señalado en la tabla, el agregado se aceptará si su equivalente de arena es superior a 40 % y, simultáneamente, el valor de azul de metileno determinado mediante la norma de ensayo INV E- 235, es inferior a diez (10).

El tipo de gradación por emplear dependerá de la clase y espesor que vaya a tener la capa compactada y se definirá en los documentos del proyecto. Teniendo en cuenta que las mezclas asfálticas naturales se caracterizan por tener una distribución granulométrica densa, se recomienda seguir los criterios establecidos en la **Tabla 442P-4**.

Tabla 442P-4 Tipo de gradación por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa

TIPO DE CAPA	ESPEJOR COMPACTO (mm)	TIPO DE MEZCLA
Rodadura	50-75 40-50	MAN-25 MAN-19
Intermedia	≥ 50	MAN-25
Base	≥75	MAN-38

442P.2.2 Mezcla asfáltica natural

La Mezcla asfáltica natural es un material compuesto esencialmente de arenas finas y conglomerado que están impregnadas de asfalto, cuyo proceso se ha realizado en el interior de los depósitos naturales y de manera igualmente natural por muchos años, siendo este parámetro común para la mayoría de los depósitos que se encuentran en el territorio colombiano. El contenido de asfalto residual puede variar según el origen y la fuente de explotación. El material pétreo presente en el asfalto natural deberá estar exento de materia orgánica o cualquier otra sustancia perjudicial.

442P.2.3 Ligante Asfáltico

Corresponderá al contenido de ligante asfáltico existente en la mezcla asfáltica natural. En caso de que sea necesario se podrá adicionar una emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta, de los tipos CRL-1 o CRL-1h, que cumpla los requisitos de calidad establecidos en el Artículo 411-13 y que sea compatible con los agregados pétreos por emplear (**Tabla 442P-5**).

Tabla 442P-5 Características que deben cumplir las emulsiones asfálticas catiónicas de rotura lenta

ENSAYOS SOBRE LA EMULSIÓN	NORMA DE ENSAYO INV	ROTURA LENTA			
		CRL – 1		CRL - 1h	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, S Saybolt Furol a 50°C, S	E-763-13	20 -	200 -	20 -	100 -
Contenido de agua, %	E-761-13	-	43	-	43
Estabilidad durante almacenamiento (24 horas), % Sedimentación a los 5 días, %	E-764-13	-	1 5	-	1 5
Destilación Contenido de asfalto residual, % Contenido de aceite, %	E-762-13	57 -	- -	57 -	- -
Tamizado Retenido tamiz No. 20 (850 µm), %	E-765-13	-	0.10	-	0.10
Demulsibilidad, %	E-766-13	-	-	-	-
Rotura en ensayo de mezcla con cemento, %	E-770-13	-	-	-	2.0
Carga de partícula	E-767-13	Positiva		Positiva	
pH	E-768-13	-	6	-	6
Cubrimiento del agregado y resistencia al desplazamiento - Con agregado seco - Con agregado seco y acción del agua - Con agregado húmedo - Con agregado húmedo y acción del agua	E-769-13	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -
Ensayos sobre el residuo de destilación					
Penetración (25°C, 100 gr, 5s), 0.1 mm - ARD - ARB	E-706-13	60 100	100 250	60	100
Ductilidad (25°C, 5 cm / min), cm	E702-13	40	-	40	-
Solubilidad en tricloroetileno, %	E-713-13	97.5	-	97.5	-

Fuente: Normas de Ensayo de Materiales 2013

442P.2.4 Agua

El agua que se requiera deberá ser limpia y libre de materia orgánica, álcalis y otras sustancias perjudiciales. Puede ser agua potable; si no lo es, deberá cumplir los requisitos que se indican en la **Tabla 442P-6**.

Tabla 442P-6 Requisitos del agua no potable para la construcción de sub-base y base estabilizada con una mezcla asfáltica natural

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO
pH	D 1293	5.5 – 8.0
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄ ²⁻ , g/l máximo	D516	1.0

442P.3 EQUIPO

Al respecto rigen las condiciones generales que se indican en el numeral 400.3 del Artículo 400-13, “Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena asfalto, lechadas asfálticas, mezclas asfálticas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos”. Para la construcción de las capas asfálticas con mezcla asfáltica natural se requieren, además, equipos para la explotación de los materiales, eventualmente una planta de trituración, una unidad clasificadora, equipos para mezclado, cargue, transporte, extensión, humedecimiento y compactación del material; equipos, para la elaboración, extensión, compactación y nivelación de la mezcla estabilizada, así como herramientas menores.

Se deberán utilizar compactadores autopropulsados de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios, de neumáticos o mixtos. El equipo de compactación será aprobado por el Interventor de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de experimentación. Como mínimo se deberán poner a disposición de los trabajos un (1) compactador vibratorio de rodillos metálicos o mixto y uno (1) de llantas neumáticas. Todos los compactadores deberán ser autopropulsados y estar dotados de inversores de marcha suaves; además, estarán dotados de dispositivos para la limpieza de los rodillos o neumáticos durante la compactación y para mantenerlos húmedos en caso necesario.

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

Las presiones lineales estáticas o dinámicas, y las presiones de contacto de los diversos compactadores, serán las necesarias para conseguir la compacidad adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor sin producir roturas del agregado.

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

Todos los equipos deberán ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requieren la aprobación previa del Interventor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cabal cumplimiento de las exigencias de la presente especificación y del correspondiente a la respectiva partida de trabajo.

442P.4 EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS

442P.4.1 Explotación de materiales y elaboración de agregados

Rige lo establecido en el Artículo 105-13, numeral 105.13.3. En la explotación de la mezcla asfáltica natural se debe hacer la respectiva clasificación del material con el fin de evitar sobre tamaños, materiales fósiles u otros elementos nocivos o contaminantes para la capa a conformar o cualquier otra sustancia que pueda resultar ambientalmente nociva o inconveniente para el buen comportamiento de la capa asfáltica.

Los procedimientos y equipos de explotación, clasificación y el sistema de almacenamiento, deberán garantizar el suministro de un producto con características uniformes. El retiro de sobre tamaños deberá obligatoriamente realizarse en el lugar de explotación del material, con la utilización de los equipos necesarios para tal fin, al igual que los trabajos de clasificación del mismo.

Cuando se requiera adicionar material pétreo a la mezcla para mejorar sus características físico-mecánicas, dicho material deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas. El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. Adicionalmente, los procedimientos y equipos de explotación, clasificación, trituración, lavado y el sistema de almacenamiento, deberán garantizar el suministro de un producto de características uniformes, según sea exigido en los documentos del proyecto.

Los lugares que sean explotados en forma específica y exclusivamente para los trabajos en cuestión, deberán recuperarse en su totalidad con vegetación nativa de la zona y deberá cumplirse con todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del Artículo 400-13.

442P.4.2 Diseño de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

442P.4.2.1 Generalidades

Rige todo lo que resulte aplicable en el numeral 400.4.2 del Artículo 400-13. Con suficiente antelación al inicio de los trabajos, el Constructor entregará al Interventor para su verificación, muestras de los materiales que se propone utilizar, avaladas por los resultados de ensayos que demuestren la conveniencia de utilizarlos. Si a juicio del Interventor los materiales resultan objetables, el Constructor deberá efectuar las modificaciones necesarias para corregir las deficiencias. Una vez el Interventor manifieste su conformidad con los materiales, el Constructor procederá a definir la fórmula de trabajo para determinar las proporciones de los materiales utilizados y parámetros de compactación que permitan cumplir con los requerimientos exigidos a la capa asfáltica construida. Una vez el Interventor manifieste su conformidad con los materiales y el diseño de la mezcla, éste sólo podrá modificarse durante la ejecución de los trabajos si se presenta una variación inevitable en alguno de los componentes que intervienen en ella.

Las mezclas asfálticas naturales a utilizar en la construcción de las capas asfálticas se diseñarán utilizando el método Inmersión – Compresión siguiendo el procedimiento definido por la norma de ensayo INV E-622-13 o el método Marshall

Modificado para asfaltos líquidos del Instituto Norteamericano del Asfalto indicado en el apéndice H del Manual MS-14, según la alternativa definida.

442P.4.2.2 Diseño de la mezcla

Las mezclas asfálticas naturales podrán utilizarse tal como sale de la mina sin necesidad de adicionar un agregado pétreo de aporte y/o un ligante asfáltico, siempre y cuando cumpla con todos los requerimientos exigidos en la **Tabla 442P-8**. En caso de que la mezcla asfáltica natural no cumpla con algunos de los requerimientos exigidos en la **Tabla 442P-8**, se recomienda evaluar alguna de las siguientes dos (2) alternativas de mejoramiento:

- a) **Mezcla asfáltica natural con la adición de un agregado de aporte.** Es aplicable cuando se tengan mezclas asfálticas naturales con altos contenidos de ligante asfáltico (mayor al 10%) que por sí solas no cumplan alguno de los requerimientos especificados, siendo necesario mejorar la estructura interparticular mediante la adición de un agregado de aporte.
- b) **Mezcla asfáltica natural adicionando un agregado de aporte y una emulsión asfáltica.** Aplicable a mezclas con bajos contenidos de ligante que no cumplan alguno de los requerimientos especificados, siendo necesario mejorar la estructura interparticular mediante la adición de un agregado de aporte e incrementar la cohesión mediante la adición de un ligante asfáltico provisto por una emulsión asfáltica de rotura lenta.

442P.4.2.2.1 Evaluación de las Mezcla asfálticas en su estado natural (tal como sale de la mina)

La evaluación de las propiedades de la mezcla asfáltica resultante se realizará siguiendo el método Marshall Modificado para asfaltos líquidos del Instituto Norteamericano del asfalto indicado en el apéndice H del Manual MS-14, siguiendo los pasos indicados en la **Tabla 442P-7**(ver Anexo A)

442P.4.2.2.2 Evaluación de la mezcla asfáltica natural con la adición de un agregado de aporte

Se debe aplicar todo lo referente al numeral anterior.

Tabla 442P-7 Pasos para el diseño de las mezclas asfálticas en su estado natural o con la adición de un agregado de aporte

PASOS	DESCRIPCIÓN	NUMERAL
Diseño preliminar	Selección de la mezcla asfáltica natural y/o Contenido de material granular de aporte Contenido de ligante asfáltico teórico de referencia en la mezcla asfáltica natural E-741-13	442P.4.2.2.2.1
Análisis volumétrico y Diseño por resistencia	Análisis de Densidad y Vacíos (ver anexo A, numeral 4) Estabilidad y flujo Marshall (ver anexo A, numeral 5)	442P.4.2.2.2.2
Verificación del diseño	Susceptibilidad al agua Estabilidad Retenida (ver anexo A, numeral 6)	442P.4.2.2.2.3

442P.4.2.2.2.1 Diseño preliminar

La mezcla asfáltica natural y las proporciones de material granular de aporte, en caso de que sea necesario, serán definidos por el contratista basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos y/o mediante la determinación del contenido de ligante asfáltico necesario para satisfacer los requerimientos granulométricos, teniendo en cuenta que las partículas de agregado deben estar cubiertas de una película con un espesor tal, que garantice la cohesión, impermeabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica natural. Se recomienda utilizar el método de superficie específica del agregado determinado mediante la norma INVIAS E-741-13 para definir el contenido de asfalto teórico que

debería estar presente en la mezcla asfáltica seleccionada.

442P.4.2.2.2 Análisis volumétrico y diseño por resistencia

Seleccionados los materiales, se recomienda evaluar al menos cuatro mezclas con diferentes contenidos de ligante (dos por encima y dos por debajo del óptimo teórico de referencia) utilizando el método y criterios recomendados por el método Marshall Modificado del Instituto Norteamericano del asfalto indicado en el apéndice H del Manual MS-14.

En caso de que a la mezcla asfáltica seleccionada se le adicione un agregado de aporte, se debe realizar la mezcla de los dos materiales a la temperatura que garantice una viscosidad del ligante asfáltico entre 1.5 Poises y 1.7 Poises, obtenida de la respectiva curva reológica del ligante asfáltico y preparar al menos 3 muestras para cada mezcla seleccionada.

Una vez se alcance una viscosidad del ligante asfáltico natural entre 2.5 y 3.1 Poise, se procede a compactar al menos tres muestras (briquetas), siguiendo la metodología definida por el Método Marshall. Posteriormente se realiza el análisis de densidad y vacíos a cada briqueta, y se determina la estabilidad y el flujo Marshall a una temperatura de 25°C (ver anexo A).

442P.4.2.2.3 Verificación del diseño

La(s) mezcla(s) asfáltica(s) seleccionada(s) que cumplan con los requerimientos volumétricos, estabilidad y flujo exigidos por el método Marshall Modificado del Instituto Norteamericano del Asfalto deberán ser evaluadas mediante la medida de la susceptibilidad a la acción del agua, a través de la estabilidad conservada, según lo indicado en el método de diseño (ver anexo A, numeral 6).

La mezcla asfáltica natural a utilizar será aquella que permita cumplir con todos los requerimientos exigidos en la **Tabla 442P-8**

Tabla 442P-8 Criterios Marshall del Instituto Norteamericano del Asfalto

CARACTERÍSTICAS	Mínimo	Promedio	Máximo
Grado de curado			
% solvente evaporado			
Para mantenimiento		25	
Para pavimentación		50	
Numero de golpes por capa		75	
% Vacíos en la mezcla	3	-	5
% Vacíos en los agregados (VAM)	Ver tabla 442-9		
Estabilidad lb. (25 °c)			
Para mantenimiento	500		
Para pavimentación	750		
Flujo 0.01" (25 °c)	8		16
Estabilidad residual			
Después de inmersión	75		
Durante 4 días a 25°C			

Tabla 442P-9 Porcentaje mínimo de vacíos en los agregados (VAM)

TAMIZ	Mínimo % de vacíos
1"	13
3 / 4"	14
1 / 2"	15
3 / 8"	16
# 4	18
# 8	21
# 16	23.5

442P.4.2.2.3 Evaluación de una mezcla asfáltica natural adicionando un agregado de aporte y una emulsión asfáltica

Las mezclas asfálticas naturales se diseñarán por el método Inmersión – Compresión siguiendo el procedimiento definido por la norma de ensayo INV E-622-13 y los pasos descritos en la **Tabla 442P- 10**. El ligante asfáltico deberá cumplir con los requerimientos definidos en el numeral **442P.2.3** de esta especificación.

Tabla 442P- 10 Pasos para el diseño de las mezclas asfálticas naturales con adición de agregado pétreo y ligante asfáltico

PASOS	DESCRIPCIÓN	NUMERAL
Diseño preliminar	- Contenido de agua preenvuelta - Contenido de ligante - Humedad de compactación	442P.4.2.2.3.1
Diseño por resistencia	Prueba de Inmersión - compresión.	442P.4.2.2.3.2

442P.4.2.2.3.1 Diseño preliminar

Los contenidos de agua de preenvuelta y de ligante se deberán fijar en función de los materiales por emplear, basándose principalmente en la experiencia obtenida en casos análogos. Adicionalmente, se deberán hacer las determinaciones indicadas en la **Tabla 442P-11**.

442P.4.2.2.3.2 Diseño por resistencia

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 mencionados en la **Tabla 442P-12**.

Tabla 442P-11 Determinaciones para el diseño preliminar de mezclas asfálticas densas en frío

PARÁMETRO	NORMA DE ENSAYO INV	COMENTARIOS
Humedad de compactación	E-142-13	Se determina la humedad óptima
Contenido óptimo teórico de ligante, utilizando métodos basados en la superficie específica de los agregados	E-741-13	Con la norma se determina la superficie específica del agregado y se aplica una constante de riqueza apropiada.

Tabla 442P-12 Criterios de resistencia para la determinación del contenido óptimo de ligante

PARÁMETRO	NORMA DE ENSAYO INV	VALOR
Resistencia seca R_s , mínimo (MPa)	E-622-13	2.5
Resistencia húmeda R_h , mínimo (MPa)		2.0
Resistencia conservada $R_c = R_h/R_s$, mínimo (%)		75

El porcentaje óptimo de ligante será aquel que permita cumplir con todos los requerimientos exigidos en la **Tabla 442P-12**.

442P.4.2.3 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, debe contener cuando menos, la siguiente información:

- Porcentaje de ligante asfáltico en la dosificación de diseño, en relación a la masa seca del componente mineral.
- Porcentaje de agua para compactación, en relación a la masa seca del componente mineral.
- Resistencias a la compresión obtenidas en la prueba de Inmersión-Compresión

- Masa unitaria seca máxima y humedad óptima correspondientes a la dosificación de diseño.
- Parámetros Marshall obtenidos.
- Tipo de ligante asfáltico a adicionar.
- Resultados de los ensayos complementarios que indique el Pliego de Condiciones.

442P.4.2.4 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 o se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este Artículo 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.

442P.4.3 Preparación de la superficie existente

La mezcla no se extenderá hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos o definidas por el Interventor. Todas las irregularidades que excedan de las tolerancias establecidas en la especificación respectiva deberán ser corregidas de acuerdo con lo establecido en ella.

Si la extensión de la mezcla necesita riegos previos de imprimación o de liga, ellos se realizarán conforme lo establecen los Artículos 420-13 y 421-13, respectivamente.

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

efectuar un riego adicional de adherencia en la cuantía que fije el Interventor. Si la pérdida de efectividad del riego anterior es imputable al Constructor, el nuevo riego deberá realizarlo sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

Las excavaciones para bacheo, así como las operaciones de relleno con los materiales adecuados para restablecer el nivel actual, se ejecutarán de acuerdo con las indicaciones del Artículo 465-13 para la excavación y de los Artículos que correspondan a los materiales empleados en el relleno de la misma.

Si la superficie sobre la cual se va a colocar la mezcla corresponde a un pavimento asfáltico antiguo que, de acuerdo con los estudios del proyecto o el criterio del Interventor requiera un fresado previo, éste se realizará conforme se establece en el Artículo 460-13.

En todos los casos deberá estar concluida la construcción de los dispositivos necesarios para el drenaje de la calzada que requieran ser construidos, previamente a la construcción de la capa de mezcla asfáltica natural.

442P.4.4 Fase de experimentación

Rige lo indicado en el numeral 400.4.3 del Artículo 400-13.

Al comienzo de los trabajos el Constructor elaborará secciones de ensayo de longitud, ancho y espesor definidos en acuerdo con el Interventor, donde se probarán el equipo y los materiales y se determinará el método definitivo de trabajo, de manera que se cumplan los requisitos de la presente especificación.

El Interventor tomará muestras de la mezcla asfáltica natural y determinará su conformidad en relación con las condiciones especificadas sobre el grado de disgregación del material mineral, espesor de capa, proporción de cada uno de los materiales: de aporte y mezcla asfáltica natural, contenido de ligante asfáltico, compactación y demás requisitos exigidos.

En caso de que los ensayos indiquen que el material estabilizado no se ajusta a dichas condiciones, el Constructor deberá hacer inmediatamente todas las correcciones necesarias y, si fuere preciso, modificará la fórmula

de trabajo, repitiéndose las secciones de ensayo una vez efectuadas las correcciones hasta que ellas resulten satisfactorias para el Interventor.

442P.4.5 Transporte y almacenamiento de los agregados de aporte y mezcla asfáltica natural

Todos los vehículos de transporte deberán cumplir con las legislaciones vigentes referentes a las dimensiones y pesos de los vehículos, a las condiciones técnico-mecánicas y a las de control de emisión de contaminantes. Para ello deberán tener al día los respectivos certificados de revisión.

Tanto los agregados como la mezcla asfáltica natural se transportarán a la planta de mezclado o a la vía en volquetas de platón liso y estanco, debidamente acondicionadas para tal fin.

La mezcla asfáltica natural se puede acopiar, ya sea a lo largo de la vía a intervenir o en una zona aledaña a la misma, para después movilizarla en volquetas cuidando que no pierda sus condiciones de calidad. Si el material está expuesto a condiciones climáticas adversas deberán tomarse las precauciones que se estimen convenientes para garantizar que la calidad del mismo se afecte.

Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los quince centímetros (15 cm) inferiores de ellos. Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a un metro y medio (1.5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

En caso de que se detecten anomalías en el suministro, los agregados se acopiarán por separado hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado o fuente de extracción de la mezcla asfáltica natural.

442P.4.6 Elaboración de la mezcla

Al respecto se considerará lo que resulte aplicable del artículo 440-13, numeral 440.4.6.

Se recomienda elaborar la mezcla asfáltica en una Planta mezcladora fija o móvil, de tipo continuo o discontinuo teniendo en cuenta que su capacidad deberá ser compatible con los procedimientos de construcción adoptados al programa de ejecución específico de las obras.

Las aberturas de salida de las tolvas se regularán de forma que la mezcla de los agregados de aporte y la mezcla asfáltica natural se ajusten a la fórmula de trabajo definida con anterioridad. De igual manera, los dosificadores de ligante bituminoso deberán estar sincronizados para que se pueda reproducir la cantidad aprobada en el diseño.

La interventoría debe aprobar por escrito el sector sobre el cual se distribuirán los materiales cuando la mezcla entre el agregado y la mezcla asfáltica natural se realice en la vía o sobre una superficie previamente compactada e imprimada o habilitada para mezclar sobre ella los materiales y el ligante asfáltico, sin que se pueda existir algún riesgo de contaminación.

Para garantizar la homogeneidad de la mezcla, se deben disponer los materiales en dos cordones separados, verificando en cada uno de ellos la cantidad y la uniformidad, de tal manera que garantice la obtención de la granulometría combinada definida en la fórmula de trabajo. El mezclado de los materiales se podrá realizar por medio de motoniveladoras o cualquier otro medio que garantice una mezcla en forma de cordón de sección transversal y granulometría uniforme. Previa verificación de la humedad, se incorporará la cantidad debida de agua y ligante bituminoso, según sea necesario, y se efectuará la mezcla correspondiente, perfilando la superficie de modo que presente, aproximadamente, la sección indicada en los planos u ordenada por el Interventor.

La mezcla en vía será ventajosa, en aquellos casos en que no se disponga de plantas mezcladoras centrales, o en los que el tamaño del proyecto no justifique el empleo de las plantas, pero se deberá usar únicamente si las condiciones de clima y control de calidad son apropiadas.

La mezcla entre el agregado de aporte y la mezcla asfáltica natural se podrá también elaborar en centros de acopio, utilizando un cargador o

con un equipo capaz de homogenizar los materiales, en la proporción resultante del diseño. Para ello se tomarán los materiales de los acopios correspondientes, los cuales deberán cuidarse de que no propicien la segregación ni contaminación alguna.

En caso de requerirse equipo diferente al mencionado y/o no contarse con el equipo aquí indicado, éste podrá ser reemplazado por aquel que el Constructor considere apropiado, y deberá ser aprobado por el Interventor.

Se pueden permitir instalaciones de diferente concepción a las descritas, siempre que se cuente con la aceptación del Interventor y previos ensayos que demuestren la calidad de la mezcla producida. En caso de que se utilicen métodos de fabricación especiales, el Interventor deberá aprobar previamente los procedimientos de elaboración.

442P.4.7 Transporte de la mezcla

Si la mezcla es elaborada en una zona aledaña, un patio de mezclado o en una planta, se transportará a la vía en volquetas acondicionadas para tal fin. Durante el transporte de la mezcla se deberán tomar las precauciones necesarias para reducir al mínimo la segregación y garantizar la uniformidad de la granulometría. La mezcla elaborada en el patio se transportará a la vía en volquetas hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Sólo se permitirá el trabajo en horas de la noche si, a juicio del interventor existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de la mezcla de manera adecuada. El trabajo en horas de la noche sólo se permitirá bajo las condiciones mencionadas en el numeral 440.4.14. del artículo 440-13.

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

442P.4.8 Extensión de la mezcla

Después de las operaciones de mezclado y eventual transporte, la mezcla asfáltica natural se extenderá preferiblemente con la máquina pavimentadora, de modo que después de compactada, se ajuste a la sección transversal y espesores indicados en los planos u ordenadas por el Interventor. Dependiendo de la importancia del proyecto y en caso de no disponer de este equipo, se permitirá su extensión con una motoniveladora, previa autorización del interventor.

Una vez que se verifique que la mezcla tiene la humedad óptima de apisonado (en caso de la adición de una emulsión asfáltica) se realizará la compactación, mediante el procedimiento definido durante la fase de experimentación, hasta alcanzar los niveles de densidad exigidos.

A menos que se ordene otra cosa, la extensión comenzará a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior de las secciones peraltadas. La colocación de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, verificando que la pavimentadora deje la superficie a las cotas previstas, con el fin de no tener que corregir la capa extendida. Por ningún motivo se permitirá el empleo de máquinas pavimentadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella. Tampoco se permitirá la segregación de materiales. Si ocurre, la extensión de la mezcla deberá ser suspendida inmediatamente hasta que su causa sea determinada y corregida. Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación, deberá ser removida y reemplazada con material apropiado, a expensas del Constructor.

Tras la pavimentadora se deberá disponer un número suficiente de obreros debidamente capacitados, agregando mezcla y enrasándola, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada, se ajuste enteramente a las condiciones indicadas en esta especificación.

La mezcla se colocará en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad en la operación de extendido, teniendo en cuenta el ancho y las pendientes de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

442P.4.9 Compactación

La compactación de la mezcla se realizará de acuerdo con el plan propuesto por el Constructor y aprobado por el Interventor durante la fase de experimentación. La compactación deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindro avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aceptada por el Interventor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Los rodillos deberán llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el Interventor, y sus cambios de dirección se harán sobre la mezcla ya compactada.

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

Se cuidará que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos. En los lugares inaccesibles a los equipos normales de compactación el proceso se efectuará mediante máquinas de tamaño y diseño adecuado para la labor por realizar. En las zonas que por su reducida extensión o su proximidad a estructuras rígidas no permitan el empleo del equipo aprobado durante la fase de experimentación, la mezcla se extenderá y compactará con los medios que resulten adecuados para el caso, de manera que la densidad alcanzada no sea inferior a la exigida por la presente especificación.

Cuando la mezcla tenga por objeto servir como capa de rodadura, la textura del pavimento terminado deberá ser uniforme y permitir una adecuada adherencia con las llantas de los vehículos en condición de superficie húmeda.

Independientemente del tipo de compactadores empleados, la compactación final se deberá realizar con equipo neumático para eliminar las huellas de los rodillos lisos y la motoniveladora.

442P.4.10 Juntas de trabajo

Al respecto, regirá todo lo que resulte aplicable del numeral 440.4.11 del artículo 440-13. Todas las juntas de trabajo se dispondrán de forma que su borde quede vertical, cortando parte de la capa terminada. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad se les

aplicará una capa uniforme y delgada de emulsión asfáltica, antes de colocar la mezcla nueva, de acuerdo con lo previsto en el Artículo 421-13, "Riego de Liga". La nueva mezcla se extenderá contra la junta y se compactará y alisará con elementos adecuados, antes de permitir el paso sobre ella del equipo de compactación. Las juntas transversales en la capa de rodadura se compactarán transversalmente.

Si se trabaja por franjas se dispondrán juntas longitudinales en todos los casos en que transcurra más de una jornada entre las operaciones en franjas contiguas. En lo posible, la mezcla se colocará en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales y para conseguir la mayor continuidad de las operaciones de extendido, teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la terminadora y la producción del material. Cuando los bordes de las juntas longitudinales sean irregulares, presenten huecos o estén deficientemente compactados, se deberán cortar para dejar al descubierto una superficie lisa vertical en todo el espesor de la capa. Donde el Interventor lo considere necesario, se añadirá mezcla que, después de colocada y compactada con pisones, se compactará mecánicamente. La junta longitudinal se deberá calentar luego de la rotura de la emulsión del riego de liga, previamente a la extensión de la siguiente franja contra ella. Las juntas presentarán la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa compactada.

Cuando se emplee la terminadora, opción recomendada, se regulará de manera que la superficie de la capa extendida resulte lisa y uniforme, sin arrastres ni segregaciones, y con un espesor tal que, luego de compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en los planos con las tolerancias establecidas en la presente especificación. Por ningún motivo se permitirá el empleo de máquinas terminadoras que dejen marcas o depresiones en la superficie u otros defectos permanentes en ella.

Tampoco se permitirá la segregación de materiales. Si ocurre, la extensión de la mezcla deberá ser suspendida inmediatamente hasta que su causa sea determinada y corregida.

Toda área segregada que no sea corregida antes de la compactación deberá ser removida y reemplazada con material apropiado a expensas del Constructor.

La colocación de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, verificando dejar la superficie a las cotas previstas, con el objeto de no tener que corregir la capa extendida.

442P.4.11 Pavimento sobre puentes y viaductos

Las losas de los puentes y viaductos se pavimentarán con la mezcla asfáltica natural de la calidad exigida para la capa de rodadura, previa la aplicación del riego de liga mencionado en el numeral **442P.4.3**, "Preparación de la superficie existente".

Durante la ejecución del riego y de la pavimentación el Constructor deberá proteger con lonas, papel o similares, todas aquellas partes de los puentes y viaductos que puedan ser afectadas por el ligante bituminoso.

El Constructor será responsable por todo daño que causen las operaciones de sus equipos y, en consecuencia, todos los trabajos de reparación y limpieza correrán de su cuenta.

442P.4.12 Bacheos

Al rellenar toda excavación para reparación del pavimento existente cuya profundidad haya sido superior a ciento cincuenta milímetros (150 mm), los últimos setenta y cinco milímetros (75 mm) hasta alcanzar el nivel de la rasante existente se deberán rellenar con mezcla asfáltica, la cual se deberá compactar con el equipo adecuado hasta alcanzar la densidad especificada. El resto de la excavación se rellenará como se establece en los numerales correspondientes a bacheo de sub-base y base granulares en los Artículos 320-13 y 330-13, respectivamente.

Cuando la excavación sea de profundidad menor o igual a ciento cincuenta milímetros (150 mm), se rellenará en su totalidad con mezcla asfáltica en capas de espesor compactado comprendido entre cincuenta y setenta y cinco milímetros (50-75 mm) hasta alcanzar la rasante existente. Estos espesores podrán variar si así lo establecen los documentos del proyecto o lo autoriza el Interventor, en particular, cuando se trate de labores de conservación y rehabilitación de pavimentos asfálticos antiguos con estructuras complejas.

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

442P.4.13 Apertura al tránsito

No se permitirá el tránsito público hasta que la mezcla haya adquirido la densidad especificada y la capa compactada pueda soportar el paso de los vehículos sin que se produzcan desplazamientos. Durante las primeras cuarenta y ocho horas (48 h) a partir de la apertura se deberá limitar la velocidad a veinte kilómetros por hora (20 km/h) para impedir que sobre la capa se produzcan aceleraciones, frenadas o giros bruscos. Si esto no es posible, el tránsito que necesariamente deba circular sobre ella se distribuirá de manera que no se concentren las huellas de su circulación sobre la superficie.

Los daños producidos por esta causa deberán ser reparados por el constructor sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías y a satisfacción plena del interventor.

442P.4.14 Limitaciones en la ejecución

No se permitirá la extensión y compactación de mezclas cuando la temperatura ambiente a la sombra sea inferior a cinco grados Celsius (5 °C), esté lloviendo o exista alta probabilidad de lluvia. En caso que la mezcla sin compactar o compactada sea afectada por el agua de lluvia, el Constructor deberá, a su costa, retirar la mezcla afectada y reconstruir el sector deteriorado a satisfacción del Interventor.

Los trabajos de construcción de la mezcla asfáltica densa natural se deberán realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público, el Interventor podrá autorizar el trabajo en jornada nocturna, siempre y cuando el Constructor garantice el suministro y la operación de un equipo de iluminación artificial adecuado. Si el Constructor no ofrece esta garantía deberá poner a disposición de la obra el equipo y el personal adicional para completar el trabajo en el tiempo especificado, operando únicamente durante las horas de luz solar.

442P.4.15 Manejo ambiental

En relación con el manejo ambiental, regirá todo lo que resulte aplicable del numeral 400.4.7 del Artículo 400-13.

442P.4.16 Reparaciones

Todos los defectos inadvertidos durante la colocación y compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, deberán ser corregidos por el constructor a su costa, 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 del pavimento construido.

442P.5 CONDICIONES PARA EL RECIBO DE LOS TRABAJOS

442P.5.1 Controles

Rige lo que resulte aplicable del numeral 400.5.1 del Artículo 400-13.

442P.5.2 Condiciones específicas para el recibo y tolerancias**442P.5.2.1 Calidad de la emulsión**

Los requisitos de calidad, controles y criterios de aceptación para la emulsión asfáltica serán los establecidos en el Artículo 411-13 "Suministro de emulsión Asfáltica".

442P.5.2.2 Calidad del agua

Cuando exista duda con la calidad del agua empleada se verificará su pH y su contenido de sulfatos. Los resultados deberán satisfacer las exigencias del numeral **442P.2.4** para permitir su empleo. Si alguna mezcla ha sido elaborada con un agua calificada de inapropiada se pondrá en observación hasta el recibo definitivo de los trabajos y en caso de que presente deterioros, se deberá remover y reconstruir por cuenta exclusiva del Constructor y a satisfacción del Interventor.

442P.5.2.3 Calidad de los agregados pétreos

Se realizarán los siguientes controles:

442P.5.2.3.1 Aprobación inicial

De cada procedencia de los agregados pétreos de aporte y de mezcla asfáltica natural 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 442P-3**, según corresponda. Los resultados de estas pruebas deberán satisfacer las exigencias indicadas en ellas so pena de rechazo de los materiales defectuosos.

442P.5.2.3.2 Control durante el proceso de producción

Durante la etapa de producción de la mezcla en su estado natural o estabilizada, 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 materiales que presenten alguna anomalía de aspecto y vigilará la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Además, efectuará las verificaciones de calidad a los agregados pétreos de aporte y/o de la mezcla asfáltica natural, indicadas en la **Tabla 442P-13**.

Tabla 442P-13 Ensayos de verificación sobre los agregados pétreos

CARACTERÍSTICA	Norma de Ensayo INV	FRECUENCIA
Composición (F)		
Granulometría combinada	E-123-13	1 por jornada
Dureza, agregado grueso (o)		
Desgaste en la Máquina de los Ángeles	E-218-13	1 por mes
Coefficiente de pulimiento acelerado para rodadura	E -232-13	Cuando cambie la procedencia de los agregados
Durabilidad (O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio	E-220-13	1 por mes
Limpieza, gradación combinada (F)		
Índice de plasticidad	E-125-13 y E-126-13	1 por jornada
Valor de azul de metileno (Nota 1)	E-235-13	1 por semana
Equivalente de arena	E-133 -13	1 por semana
Geometría de las partículas, agregado grueso (F)		
Partículas planas y alargadas, relación 5:1	E-240-13	1 por semana
Caras fracturadas	E-227-13	1 por jornada
Geometría de las partículas, agregado fino (F)		
Angularidad de la fracción fina.	Método A E-239-13	1 por jornada
Propiedades Intrínsecas del agregado (O)		
Gravedad específica y absorción	E-222-13 y E-223-13	1 por mes

Nota 1: En caso de que se requiera, según la nota 1 de la Tabla 442 - 3.

No se permitirá el empleo de materiales que no satisfagan los requisitos pertinentes del presente Artículo. En la eventualidad de que alguna prueba presente 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, de lo contrario, el Interventor impedirá el uso del volumen de material al cual representen dichos ensayos.

El Interventor podrá reducir la frecuencia de los ensayos a la mitad de lo indicado en la **Tabla 442P-13**, siempre que considere que los materiales son suficientemente homogéneos o si en el control de recibo de la obra terminada haya aceptado sin objeción diez (10) lotes consecutivos.

442P.5.2.4 Composición de la mezcla

A la salida del mezclador, en el cordón de mezcla en obra, en el depósito de almacenamiento o sobre cada vehículo de transporte, según sea el caso, se controlará el aspecto de la mezcla. Se rechazarán todas las mezclas segregadas, así como aquella cuya envuelta no sea homogénea.

Cuantitativamente se realizarán los siguientes controles:

442P.5.2.4.1 Contenido de asfalto

Sobre tres (3) muestras de la mezcla elaborada correspondiente a un lote, definido como se indica en el numeral **442P.5.2.6.1**, se determinará el contenido de asfalto residual (Norma de ensayo INV E-732-13).

El porcentaje de asfalto residual promedio del lote (ART %) tendrá una tolerancia de uno por ciento (1.0 %) para mezclas realizadas en vía y de tres por mil (0.3 %) para mezclas elaboradas en planta respecto del óptimo establecido en la fórmula de trabajo (ARF%).

(mezcla en vía)	$ARF\% - 1.0\% \leq ART\% \leq ARF\% + 1.0\%$	[442P-1]
-----------------	-----------------------------------------------	----------

(mezcla en planta)	$ARF\% - 0.3\% \leq ART\% \leq ARF\% + 0.3\%$	[442P-2]
--------------------	-----------------------------------------------	----------

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 medio por ciento (0.5 %), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

	$ART\% - 0.5\% \leq ARI\% \leq ART\% + 0.5\%$	[442P-3]
--	-----------------------------------------------	----------

Un porcentaje de asfalto residual promedio (ART%) fuera de tolerancia, así como un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del lote salvo que, en el caso de exceso del ligante, el Constructor demuestre que no habrá problemas de comportamiento de la mezcla ni de inseguridad para los usuarios.

En caso de rechazo la capa de mezcla asfáltica natural correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías. El material fresado será de propiedad del Constructor.

442P.5.2.4.2 Granulometría

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-782-13, la cual deberá cumplir la gradación de la fórmula de trabajo dentro de las tolerancias establecidas en la **Tabla 442P-2**, pero sin permitir que la curva se salga de la franja.

En caso de que los valores obtenidos excedan las tolerancias, pero no salgan de la franja, el Constructor deberá preparar en el laboratorio una mezcla con la gradación defectuosa y el porcentaje medio de asfalto de la mezcla elaborada con este

agregado. Ella se someterá a todas las pruebas de valoración descritas en el numeral **442P.4.2** de esta especificación. Si los requisitos allí indicados no se cumplen en su totalidad se rechazará el lote.

En caso de rechazo, la capa correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías. El material fresado será de propiedad del Constructor.

442P.5.2.5 Calidad de la mezcla

442P.5.2.5.1 Control de la Resistencia para mezclas asfálticas con adición de emulsión Asfáltica

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 los ensayos de Inmersión-Compresión (normas de ensayo INV E-622-13). Una muestra se curará en seco y otra en condición húmeda.

Tanto la resistencia media tras curado seco como tras curado húmedo de las probetas elaboradas, (R_m), deberán superar o al menos igualar al noventa por ciento (90%) de la respectiva resistencia de la mezcla definitiva de trabajo (R_t):

$$R_m \geq 0.90 R_t$$

[442-4]

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:

$$R_i \geq 0.80 R_m$$

[442P-5]

La resistencia conservada promedio (R_{cm}) deberá ser, como mínimo, el setenta y cinco por ciento (75 %) sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

Rcm \geq 75 %**[442P-6]**

Si uno o más de estos requisitos se incumplen se rechazará el lote al cual representan las muestras. En caso de rechazo la capa 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 **442P.4.2**.

442P.5.2.5.2 Control de las características Marshall para mezclas asfálticas naturales sin adición de emulsión Asfáltica

Para la evaluación de las propiedades Marshall y con un mínimo de dos (2) muestras por lote de la mezcla elaborada, se fabricarán las probetas con los mismos parámetros utilizados en el diseño a nivel de laboratorio (al menos tres por muestra).

442P.5.2.5.2.1 Estabilidad

La estabilidad media de las seis (6) probetas (E_m) deberá ser, como mínimo, igual al noventa por ciento (90%) de la estabilidad de la mezcla de la fórmula de trabajo (E_t).

 $E_m \geq 0.90 E_t$ **[442P-7]**

Ningún valor individual (E_i) podrá exceder en más de veinticinco por ciento (25%) el valor de estabilidad de la fórmula de trabajo (E_t), ni encontrarse por debajo del valor mínimo establecido en la **Tabla 442P-8**

1.25 $E_t > E_i$ > valor mínimo Tabla 442 - 8 [442P-8]

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

 $E_i \geq 0.80 E_m$ [442P-9]

El incumplimiento de al menos una de estas exigencias implica el rechazo del lote representado por las muestras. En este caso, la capa de mezcla asfáltica natural correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías. El material fresado será de propiedad del Constructor.

442P.5.2.5.2.2 Flujo

El flujo medio de las probetas sometidas al ensayo de estabilidad (F_m) se deberá encontrar entre el ochenta por ciento (80%) y el ciento veinte por ciento (120%) del valor obtenido en la mezcla aprobada como fórmula de trabajo (F_t), pero no se permitirá que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos en la **Tabla 442P-8**.

 $0.80 F_t \leq F_m \leq 1.20 F_t$ [442P-10]

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido en la **Tabla 442P-8**, pero no satisface la exigencia recién indicada en relación con el valor obtenido al determinar la fórmula de trabajo, el Interventor decidirá, al compararlo con las estabilidades, si el lote debe ser rechazado o aceptado.

442P.5.2.5.2.3 Susceptibilidad a la humedad

Cada vez que el Interventor lo considere conveniente, de acuerdo con el aspecto y

comportamiento de la mezcla colocada, se verificará en el laboratorio la susceptibilidad de la mezcla compactada a la acción del agua según la metodología de diseño del Instituto Norteamericano del Asfalto.

Al efecto se moldearán seis (6) probetas con la mezcla que se está elaborando, tres (3) de las cuales se curarán en seco y tres (3) bajo condición húmeda, determinándose la estabilidad Marshall promedio de cada grupo como lo establece la norma de ensayo (ver el **numeral 6 del Anexo A**). La estabilidad Marshall del grupo curado en húmedo deberá ser, cuando menos, setenta y cinco por ciento (75%) de la estabilidad Marshall del grupo curado en seco, para que se considere que la mezcla es resistente a la humedad, sin que al respecto se admita ninguna tolerancia.

El incumplimiento de este requisito implicará la realización del ensayo sobre núcleos tomados de los diferentes lotes cuya mezcla considere el Interventor que puede presentar este problema (seis núcleos por lote, tres curados en seco y tres bajo condición húmeda). Los lotes de material que no cumplan con el requisito serán rechazados.

Además, los trabajos se deberán suspender hasta que se estudien e implementen las medidas que garanticen el cumplimiento de este requisito las cuales pueden comprender desde la incorporación de un aditivo hasta la definición de una nueva fórmula de trabajo y un nuevo diseño de la mezcla.

442P.5.2.5.2.4 Contenido de agua

Siempre que la apariencia de la mezcla indique la posible presencia de agua en ella, se determinará el contenido de agua en la mezcla asfáltica, según las normas de ensayo INV E-755-13 o INV E-783-13.

El contenido de agua en cualquier mezcla asfáltica natural no podrá ser mayor del uno por ciento (1.0 %). Los volúmenes de mezcla que no cumplan con este requisito serán rechazados.

442P.5.2.6 Calidad del producto terminado

442P.5.2.6.1 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 natural:

- 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.

Específicamente para la determinación del índice Internacional de Rugosidad (IRI), la definición de “lote” será como se indica en el numeral **442P.5.2.6.9**.

442P.5.2.6.2 Aspectos generales

La capa terminada de Mezcla Asfáltica Natural deberá presentar una superficie uniforme y se deberá ajustar a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no podrá ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el Interventor.

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

Todas las áreas donde los defectos de calidad y terminación excedan las tolerancias de esta especificación, así como aquellas en que se presente retención de agua en la superficie, deberán ser corregidas por el Constructor de acuerdo con las instrucciones del Interventor y a plena satisfacción de éste sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

Además, se deberán realizar las siguientes verificaciones:

442P.5.2.6.3 Compactación

Los sitios para la determinación de la densidad de la capa se elegirán al azar, según la norma de ensayo INV E-730-13 "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 asfáltica construida con la mezcla asfáltica natural se deberá calcular su grado de compactación a partir de los resultados de los ensayos de densidad en el terreno y de los ensayos de densidad en el laboratorio, mediante la siguiente expresión:

$$GCI = \frac{D_i}{D_e} \times 100 \quad [442P-11]$$

GCI: Valor individual del grado de compactación en porcentaje;

D_i: Valor individual de la densidad en el terreno, determinado por alguno de los métodos descritos en las normas de ensayo INV E-733-13, E-734-13, E-746-13 o E-802-13;

D_e: Valor promedio de los valores de densidad de las seis (6) probetas por lote elaboradas en el

laboratorio según la metodología de ensayo Inmersión-Compresión o Marshall Modificado del Instituto Norteamericano del Asfalto, como se indica en los numerales 440.5.2.4 del Artículo 440-13, según aplique.

Sólo se aceptará la determinación de la densidad de la capa compactada por medio del densímetro nuclear (norma de ensayo INV E-746-13), si se garantiza, sin lugar a ninguna duda, que la medición del aparato abarca única y exclusivamente el espesor total de la capa que se está verificando.

Para el control de la compactación se aplicarán los siguientes criterios:

GCI (90) \geq 95.0 % se acepta el lote	[442P-12]
------------------------------------------	------------------

GCI (90) < 95.0 % se rechaza el lote	[442P-13]
--------------------------------------	------------------

Siendo:

GCI(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 107-13, "Control y aceptación de los trabajos" a partir de los valores individuales del grado de compactación GCI.

Las comprobaciones de la compactación se realizarán en todo el espesor de la capa que se controla cuando se haya cumplido sustancialmente el período de curado de la mezcla, conforme se haya determinado durante la etapa de diseño de la mezcla y/o en la fase de experimentación. La toma de testigos se hará de acuerdo con lo que establece la norma de ensayo INV E-758-13.

En caso de rechazo la capa de mezcla asfáltica natural correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a

satisfacción del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías. El material fresado será de propiedad del Constructor.

442P.5.2.6.4 Espesor

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

$$em \geq ed$$

[442P-14]

Además, el valor obtenido en cada determinación individual (ei) 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.

$$ei \geq 0.90 ed$$

[442P-15]

Si alguno de estos requisitos se incumple se procederá como se indica a continuación. Todas las labores de corrección las ejecutará el Constructor sin cargo adicional para el Instituto Nacional de Vías.

442P.5.2.6.4.1 Para capas de rodadura

El Constructor procederá a fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado o, alternativamente y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, a la colocación de una capa adicional del mismo tipo de mezcla de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto cumpliendo todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas deberá ejecutarlo a su costa, en acuerdo con el Artículo 421-13.

Si la capa adicional no cumple alguno de los requisitos de este Artículo deberá ser fresada y repuesta con una nueva de calidad satisfactoria.

442P.5.2.6.4.2 Para capas intermedias y de base

El Constructor procederá a fresar y remover la capa y reponerla en el espesor adecuado salvo que, tratándose de una capa de base o intermedia sobre la cual se va a colocar otra capa de mezcla asfáltica natural, el Constructor se comprometa a compensar la deficiencia incrementando el espesor de la capa intermedia o de rodadura respectivamente, sin que el exceso de espesor por colocar de esta última genere costo alguno para el Instituto Nacional de Vías.

442P.5.2.6.5 Planicidad

La superficie acabada no podrá presentar, en ningún punto, zonas de acumulación de agua ni irregularidades mayores de diez milímetros (10 mm) en capas de rodadura o quince milímetros (15 mm) en capas de base o intermedias y bacheos cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m), según la norma de ensayo INV E-793-13; la regla se colocará tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía en los sitios que escoja al azar el Interventor, los cuales no podrán estar afectados por cambios de pendiente.

Las zonas que presenten deficiencias de este tipo deberán ser fresadas y repuestas por el Constructor sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías, y a plena satisfacción el Interventor. El material fresado será de propiedad del Constructor.

442P.5.2.6.6 Textura

Las medidas de textura se realizarán antes de la puesta en servicio de la capa de rodadura construida con una mezcla asfáltica natural empleando el

método descrito en la norma de ensayo INV E-791-13.

El número mínimo de puntos a controlar por lote será de tres (3), que se ampliarán a cinco (5) si la textura obtenida en uno de los tres (3) primeros es inferior a la especificada. Dichos puntos se elegirán al azar de acuerdo con la norma INV E-730-13. La profundidad media de textura del lote no podrá ser menor al mínimo admisible que se defina en los documentos del proyecto, el cual no podrá ser inferior a 0.35. Ningún valor individual podrá ser inferior en más de veinte por ciento (20%) al promedio mínimo exigido y no podrán existir áreas con evidencias indudables de segregación.

Si este requisito no se cumple, la capa de rodadura correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías, quedando el material fresado de propiedad del Constructor.

Alternativamente y a opción del Constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, éste podrá colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo con el correspondiente riego de liga sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías, del mismo espesor compacto que la anterior cumpliendo todos los requisitos de calidad de esta especificación.

442P.5.2.6.7 Resistencia al deslizamiento

Una vez transcurridos como mínimo treinta (30) días de la puesta en servicio, se harán las determinaciones de la resistencia al deslizamiento sobre las mezclas asfálticas naturales construidas para servir como capas de rodadura.

Debido a que la resistencia al deslizamiento se encuentra relacionada directamente con la

seguridad de los usuarios, los puntos para su determinación en cada lote no se elegirán al azar, sino que serán ubicados por el Interventor en los lugares que considere más sensibles al deslizamiento vehicular en condición de superficie húmeda.

Las medidas se realizarán con el péndulo británico, en acuerdo con la norma de ensayo INV E – 792-13, en tres (3) puntos por lote en zonas en tangente y en uno (1) por cada curva horizontal y por cada zona singular (glorieta, intersección, zona de frenado, etc.) incluida dentro del lote y ninguna de ellas podrá presentar un valor inferior a 0.50.

En caso de que se presenten valores menores, el Interventor realizará medidas adicionales para delimitar perfectamente el área deficiente, la cual deberá ser corregida por el Constructor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías. Para ello, la capa de mezcla asfáltica natural correspondiente al lote controlado deberá ser levantada mediante fresado y repuesta a satisfacción del Interventor, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías. El material fresado será de propiedad del Constructor.

Alternativamente y a opción del Constructor, y si no existen problemas de gálibo o de sobrecargas estructurales, éste podrá colocar una capa adicional de una mezcla del mismo tipo, sin costo adicional para el Instituto Nacional de Vías, de cincuenta milímetros (50 mm) de espesor compacto, cumpliendo todos los requisitos de calidad de esta especificación. El riego de liga que se deba colocar para adherir las capas será también de cuenta del Constructor quien deberá ejecutarlo en acuerdo al Artículo 421-13.

La resistencia al deslizamiento se puede verificar también con dispositivos de rueda parcialmente bloqueada (norma de ensayo INV E-815). En tal caso,

la especificación particular indicará el equipo autorizado, así como los valores mínimos por alcanzar, los cuales deberán ser, cuando menos, equivalentes a 0.5 para el péndulo británico.

442P.5.2.6.8 Correcciones por variaciones en el diseño o por causas no imputables al Constructor

Cuando sea necesario efectuar correcciones a la capa asfáltica 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.

442P.5.2.6.9 Regularidad superficial (rugosidad)

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) se comprobará de manera continua en toda la longitud de la obra y en cada carril antes del recibo definitivo de la misma. Para los efectos de aceptación del pavimento terminado este Artículo establece que la determinación del IRI se deberá realizar únicamente, con procedimientos de medida de precisión o con equipos de referencia inercial. Las medidas de precisión se podrán adelantar con mira y nivel, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-794-13 o con un perfilómetro pivotante de alta precisión, norma INV E-814-13.

Si se opta por el equipo de referencia inercial éste se deberá validar previamente con uno de precisión en un tramo de prueba de longitud no menor de doscientos metros (200 m). El equipo de referencia inercial se deberá operar de acuerdo con la norma ASTM E 950.

Para efectos de la evaluación con fines de recibo las medidas se harán en cada uno de los carriles del pavimento construido y los valores del Índice

Internacional de Rugosidad (IRI) se presentarán en m/km, en tramos consecutivos de cien metros (100 m) por carril, con la excepción que se cita en el párrafo siguiente.

Un conjunto de cinco (5) tramos constituirá un lote. No habrá exigencia sobre el cumplimiento de regularidad superficial en tramos que incluyan singularidades, entendiendo por tales todas aquellas alteraciones del perfil longitudinal de la carretera que incrementen el IRI y no provengan de deficiencias constructivas, como pueden ser intersecciones con otras vías, puentes, pozos de inspección, los reductores de velocidad, etc., los cuales serán definidos por el Interventor con su ubicación respectiva (carril y abscisa), antes de proceder a la determinación del índice internacional de rugosidad (IRI).

Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una regularidad superficial aceptable si a lo largo de la longitud evaluada en cada carril se satisfacen los valores indicados en la **Tabla 442P-14**. Si la proporción de hectómetros donde los resultados de la regularidad superficial (IRI) exceden los límites especificados no es superior a veinte por ciento (20%) del total del lote, el Interventor delimitará los sectores relevantes en el incumplimiento y ordenará su corrección mediante fresado y la colocación de una nueva capa de Mezcla Asfáltica Natural. Los espesores por fresar y reponer en cada tramo serán establecidos por el Interventor y todos los costos que impliquen estas correcciones deberán ser asumidos por el Constructor. El material fresado será de propiedad del Constructor. Si la proporción de hectómetros donde los resultados de IRI exceden los límites especificados es mayor a veinte por ciento (20%) del total del lote, toda la longitud de éste deberá ser fresada y repuesta en el mismo espesor. El fresado, traslado y disposición del material demolido y la reconstrucción de la capa con la calidad exigida por el presente Artículo, serán a

cargo del Constructor. El material demolido será de propiedad del Constructor. Éste, a su vez, no podrá invocar las reparaciones o reconstrucciones debidas a deficiencias en la regularidad superficial como causal para incumplir el programa de trabajo.

Tabla 442P-14 Valores máximos admisibles de IRI (m/km)

PORCENTAJE DE HECTÓMETROS	PAVIMENTOS NUEVOS Y REHABILITADOS EN ESPESOR >100 mm	PAVIMENTOS REHABILITADOS ESPESOR ≤ 100 mm
40	2.4	2.9
80	3.0	3.5
100	3.5	4.0

442P.5.2.6.10 Construcción de capas de renivelación

Cuando la mezcla asfáltica natural se emplee en la construcción de capas de renivelación de un pavimento existente, deberá cumplir los mismos requisitos que se exigen cuando se coloca como capa de base, si su espesor es mayor o igual a setenta y cinco milímetros (75 mm). En caso contrario, deberá cumplir los requisitos exigidos a la capa intermedia.

442P.5.2.6.11 Medidas de deflexión

El Interventor verificará la solidez de la estructura construida al nivel de la capa de mezcla asfáltica natural, realizando medidas de deflexión con la viga Benkelman, de acuerdo con la norma de ensayo INV E-795-13. Los resultados de las medidas, que se realizarán en tresbolillo cada 20 metros, no constituirán base para aceptación o 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.

442P.6 MEDIDA

La capa asfáltica natural se medirá según lo descrito en el Artículo 400-13 y en particular en el numeral 400.6.2. Para bacheos se aplicará lo especificado en el numeral 400.6.3 del mismo Artículo.

442P.7 FORMA DE PAGO

La capa asfáltica natural se pagará según lo descrito en el Artículo 400-13 y en particular en el numeral 400.7.3.

Se excluyen del precio unitario el suministro y el almacenamiento de la emulsión para la mezcla, que se pagarán de acuerdo con el Artículo 411-13, siempre que ello sea requerido.

442P.8 ÍTEM DE PAGO

442P.1 Mezcla Asfáltica Natural tipo MAN-38	Metro cúbico (m ³)
442P.2 Mezcla Asfáltica Natural tipo MAN-25	Metro cúbico (m ³)
442P.3 Mezcla Asfáltica Natural tipo MAN-19	Metro cúbico (m ³)
442P.4 Mezcla Asfáltica Natural para bacheo	Metro cúbico (m ³)

Nota: Se deberá elaborar un nuevo ítem de pago diferente para cada tipo de mezcla y capa que haga parte del contrato. Por ejemplo, si el contrato considera dos mezclas del tipo MAN-25, una para capa de rodadura y otra para capa intermedia, se podrán identificar así:

442P.2.1 Mezcla Asfáltica Natural tipo MAN-25 para capa de rodadura	Metro cúbico(m ³)
442P.2.2 Mezcla Asfáltica Natural tipo MAN-25 para capa intermedia	Metro cúbico(m ³)

De igual manera se debe elaborar un nuevo ítem si a las mezclas asfálticas naturales se les adiciona una emulsión asfáltica. En este caso se podría identificar así:

442P.2.3 Mezcla asfáltica natural tipo MAN-25 para capa de rodadura con adición de emulsión asfáltica	Metro cúbico(m ³)
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

**ANEXO A
(Informativo)****EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS NATURALES MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL
MÉTODO MARSHALL MODIFICADO DEL INSTITUTO NORTEAMERICANO DEL
ASFALTO****1. GENERALIDADES****1.1 - Justificación y ámbito de Aplicación del método de evaluación**

Las mezclas asfálticas naturales son consideradas mezclas asfálticas no convencionales. Su origen es natural mediante un proceso de impregnación del agregado por un crudo pesado a través del tiempo. Se considera como una mezcla de un agregado pétreo y un asfalto líquido natural de curado lento (solventes pesados) conformado por un cemento asfáltico de consistencia baja y una variedad de solventes con una alta viscosidad, difícil de evaporar en su totalidad durante el proceso de colocación y compactación pero que pueden ir variando su composición química por fenómenos de oxidación con el oxígeno proveniente del aire y agua, por lo cual se espera un incremento de su resistencia con el transcurso del tiempo.

En Estados Unidos a comienzos de siglo pasado (1900), era muy común la utilización de los denominados Cut Back o asfaltos rebajados para elaborar mezclas asfálticas para la construcción de superficies de rodadura en vías con bajo nivel de tránsito. Es por eso que instituciones reconocidas como el Instituto Norteamericano del Asfalto lideró una serie de investigaciones a nivel de laboratorio y en obra que generó en un método de diseño de las mezclas con asfalto líquido y unos criterios de diseño, basados ambos en el método de diseño de mezclas en caliente Bruce Marshall. Esta metodología y criterios de diseño se encuentran publicados en el manual de diseño del Instituto Norteamericano del Asfalto MS-14 de 1989 en el apéndice H y en los métodos de diseños de mezclas para concreto asfáltico, MS-2. Con la proliferación de la tecnología de mezclas en caliente y la coyuntural crisis energética de los años 80's su uso se redujo considerablemente. En Colombia, el uso de los asfaltos líquidos como ligante en mezclas asfálticas fue limitado en las especificaciones más recientes.

El método y criterios de diseño del instituto del Asfalto son aplicables en las tareas de mantenimiento y pavimentación cuando se utilizan los

asfaltos líquidos, en especial los del tipo curado medio (MC) y curado lento (SC) y agregados minerales bien gradados con un tamaño máximo de partículas de 1" (25 mm) o menores. Por esta razón, el método seleccionado para caracterizar estas mezclas asfálticas no convencionales, dadas las características del ligante natural y los criterios de diseño para evaluar su comportamiento, es el recomendado por Instituto Norteamericano del Asfalto. Es de anotar que este método de diseño puede ser realizado por cualquier laboratorio dedicado a la evaluación de materiales viales de manera rápida y económica. Incluye mezclas elaboradas en vía, preparadas a la temperatura ambiente, así como también mezclas en planta que requieran una alta temperatura de mezclado. El método puede ser usado únicamente para diseños a nivel de laboratorio.

Teniendo en cuenta que esta metodología de diseño no se volvió a utilizar debido a disposiciones de tipo ambiental y energético, lo cual favoreció el desplazamiento de los asfaltos líquidos por las emulsiones asfálticas, se considera necesario precisar nuevamente estos aspectos a los laboratorios actuales, presentando a continuación una adaptación y aplicación del método de diseño Marshall modificado para asfaltos líquidos en la evaluación de las mezclas asfálticas naturales con o sin adición de agregado de aporte.

Nota 1. Este instructivo no reemplaza al documento recomendado por el Instituto Norteamericano del Asfalto, por lo que se debería tener como referencia directa en el laboratorio el documento original.

1.2 – Procedimiento general

Antes de elaborar las mezclas de prueba para ajustar las dimensiones de las briquetas se requiere:

- a) Que los materiales cumplan con las especificaciones requeridas.
- b) Que la combinación a evaluar de mezcla asfáltica natural y agregado de aporte se encuentre dentro de las especificaciones granulométricas exigidas.
- c) Que se determine la gravedad específica bulk de los agregados que conforman la mezcla asfáltica natural, del agregado de aporte y la gravedad específica del ligante asfáltico, con el fin de realizar el análisis de densidad y vacíos.
- d) Que se elabore la curva reológica del ligante asfáltico que conforma la mezcla asfáltica natural. Para ello se debe separar el agregado pétreo del ligante asfáltico natural mediante el

procedimiento definido por la norma INV E-759, Recuperación del ligante asfáltico de una solución utilizando el evaporador rotatorio y determinar la viscosidad a distintas temperaturas.

El método Marshall usa muestras de prueba normalizada de 2 y 1/2" de espesor por 4" de diámetro, que se preparan de acuerdo con especificaciones bien definidas de espesor, mezclado y compactación de las mezclas.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas por el método Marshall son: Un análisis de densidad y vacíos y una prueba Estabilidad – flujo sobre las muestras compactadas.

La estabilidad de la muestra es la máxima resistencia a la carga en libras (N), que una muestra ensayada a una temperatura controlada de 77°F (25°C) soportaría siguiendo el procedimiento que más adelante se enuncia. El flujo es el total de deformación medido en unidades 0.01" (0.25 mm), que sufre la muestra (briqueta), mientras se carga al máximo durante la prueba de estabilidad.

El proceso de evaluación consiste en los siguientes pasos:

- Se selecciona la mezcla asfáltica natural y en caso de ser necesario, el agregado pétreo de aporte, los cuales deben cumplir con las especificaciones requeridas.
- Se preparan y compactan muestras de prueba con los materiales seleccionados teniendo en cuenta que las temperaturas de mezclado y compactación se deben determinar mediante la curva de susceptibilidad térmica (curva reológica) del ligante asfáltico que conforma la mezcla asfáltica.
- Con la mezcla asfáltica seleccionada en su estado natural, tal como sale de la mina, o con la adición de agregado de aporte se prepara una serie de muestras de prueba (briquetas). Se recomienda evaluar mínimo dos porcentajes por encima y por debajo del óptimo teórico de referencia que debería estar presente en la mezcla asfáltica seleccionada definido por algún método. Se recomienda utilizar el método de superficie específica del agregado determinado mediante la norma Invias E-741-13.

- Para establecer la idoneidad de los datos estimados se deben elaborar tres muestras (briquetas) por cada contenido de asfalto que se vaya a usar. Así, para un estudio de diseño se deben evaluar al menos 4 mezclas asfálticas naturales con porcentajes de asfalto diferentes, por lo cual se requerirán al menos 12 briquetas. Adicionalmente se deben utilizar 6 briquetas para determinar los efectos del agua en la estabilidad. Para la elaboración de cada muestra de ensayo (briqueta), se necesitan aproximadamente 1.200 gr. de mezcla asfáltica. Es por esto que la cantidad mínima de material representativo y de composición homogénea que se requiere para la preparación de las briquetas y realizar los demás ensayos de caracterización necesarios: análisis granulométrico y determinación de las gravedades específicas, es aproximadamente 30 kg.
- Las muestras se evalúan para determinar la relación de vacíos en la mezcla y relación de vacíos en el agregado y la estabilidad y el flujo Marshall a 77°F (25°C).
- El efecto del agua en la estabilidad y el flujo se determina de acuerdo con los resultados de someter la muestra (briqueta), a una prueba de Inmersión por un período de 4 días en un baño de agua a 77°F (25°C).
- Se debe seleccionar la mezcla asfáltica que cumpla con los criterios de diseño establecidos por el Instituto Norteamericano del Asfalto.

2. EQUIPO

Al respecto se considerará lo que resulte aplicable de la norma de ensayo E-748, numeral 4 de las normas de ensayo de materiales 2013.

El equipo necesario para la elaboración de las briquetas o muestras es el siguiente:

- a) Horno y palanca calentadora eléctrica para calentar los agregados, el asfalto y materiales necesarios.
- b) Cuchara para manejar los agregados y la mezcla.
- c) Recipientes graduados, bandeja y pinzas para el calentamiento del asfalto.

- d) Termómetro blindado de vidrio o dial con varilla para lecturas entre 50°F (10°C) y 450°F (232°C), de la temperatura de los agregados, del asfalto y de la mezcla asfáltica.
- e) Balanza de 2 kg. de capacidad, con aproximación a 0.1 gr, para pesar las muestras compactadas.
- f) Palustre.
- g) Espátula.
- h) Mezclador mecánico (opcional) de 4 litros de capacidad o más, equipo con dos compartimientos de metal para mezclado y dos agitadores.
- i) Baño de agua hirviendo que consiste en el plato calentador y cubeta de agua para calentar el martillo y el molde de compactación.
- j) Pedestal para compactación que consta de soporte de madera de 8" x 8" x 18" (200 x 200 x 460 mm.), sobre el cual descansa una placa de acero de 12" x 12" x 1" (305 x 305 x 25 mm.). El soporte puede ser de roble, pino o cualquier otra madera resistente que tenga un peso seco de 42 a 48 lb./pie³ (673 a 769 kg. Por m³). El soporte se asegurará mediante 4 esquineras a una placa sólida de concreto. Los bordes de la placa de acero se fijan firmemente al soporte. El pedestal puede instalarse de tal manera que el soporte quede nivelado y que se presente un perfecto ajuste durante el proceso de la compactación.
- k) Molde de compactación que consta de: una base, molde encofrado y collar de extensión. El molde tiene un diámetro interior de 4" (101,6 mm) y una altura aproximadamente de 3" (76 mm). La base y el collar están diseñados para intercambiarse ya sea a uno u otro lado del molde.
- l) Martillo de compactación que consta de una barra achatada que cae deslizándose sobre una guía y un pisón de cara circular de 3" y 7/8" (98,4 mm). La barra pesa 10 libras (4.5 kg.) y tiene una caída (guía) de 18" de altura.
- m) Soporte del molde que consta de un dispositivo de tensión elástica, diseñado para acoplar el molde sobre el pedestal de compactación.
- n) Extractor de muestras o prensa para extraer la muestra (briqueta) ya compactada.
- o) Guantes de soldadura para el manejo del equipo calentado. Guantes de caucho para el manejo de las muestras en el baño de agua caliente.
- p) Crayolas para marcar las muestras.
- q) Bandeja de metal para vaciar los agregados, mezclarlos con el

- asfalto líquido y curado de la mezcla.
- r) Horno aireador para el curado de las mezclas.
 - s) Balanza de 4 kg. de capacidad con aproximación a 0.2 gr, para pesar los agregados y el asfalto.
 - t) Máquina de ensayo Marshall con dispositivo eléctrico, diseñada para aplicar las cargas a las muestras por medio de pesas de ensayo semicirculares a una rata de deformación constante de 2"/min (50.8 mm/min). Está equipada, además, con un calibrador provisto de anillo para determinar la carga de ensayo aplicada, marco de carga para el ensayo de estabilidad Marshall y un medidor de flujo Marshall para establecer la deformación bajo la carga máxima de ensayo. En lugar del marco de ensayo Marshall puede emplearse una maquina universal de ensayo equipado con indicadores adecuados de carga y deformación.
 - u) Aireador o baño de aire. El baño de aire debe estar equipado con un control automático o manual de mantenimiento de la temperatura en 77°F±1°F (25±0.6°C).

3. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ENSAYO

Al respecto se considerará lo que resulte aplicable de la norma de ensayo E-748, numeral 5 de las normas de ensayo de materiales 2013.

3.1 Número de muestras.

Se deben preparar por lo menos 3 y preferiblemente 5 para cada contenido de asfalto en la mezcla seleccionada para evaluar, ya sea en su estado natural o con aporte de agregados.

3.2 Determinación de la temperatura de mezclado y de compactación.

La temperatura a la cual debe realizarse la mezcla entre el agregado de aporte y la mezcla asfáltica natural debe ser la que permita alcanzar en el ligante asfáltico una viscosidad de 170 ± 20 centistokes. La temperatura a la cual el ligante asfáltico puede llegar a tener una viscosidad de 280 ± 30 Centistokes se denomina la temperatura de compactación. Para su determinación debe construirse la curva viscosidad vs temperatura del ligante asfáltico recuperado mediante el

procedimiento definido por la norma INV E-759, Recuperación del ligante asfáltico de una solución utilizando el evaporador y la norma INV E-717, Determinación de la viscosidad del asfalto empleando el viscosímetro rotacional.

Nota 2: Teniendo en cuenta que las mezclas asfálticas naturales están conformadas por agregados pétreos impregnados de una película de ligante asfáltico natural (cemento asfáltico y solvente de bajo grado de volatilización), no es necesario someter a un proceso de curado a la mezcla antes de proceder a su compactación. En este caso se estaría evaluando a las mezclas asfálticas naturales de una manera conservadora, dado que con el tiempo en servicio se presenta un endurecimiento del ligante haciendo que la mezcla vaya incrementando su resistencia a las deformaciones plásticas. Esta es una diferencia respecto al método original en donde se hace evaporar un 25% o un 50% de los solventes incluidos durante la elaboración del asfalto líquido.

3.3 Preparación del molde y el martillo.

Cuando se encuentra completamente limpio el conjunto del molde al igual que la cara del martillo, se someten a un baño de agua caliente o se colocan sobre el plato calentador a una temperatura entre 200°F (93,3°C) y 300°F (148,9°C). Se debe colocar un pedazo de papel de filtro recortado de acuerdo al tamaño del fondo del molde y luego se coloca la muestra en el molde.

3.4 Preparación de las mezclas.

Al respecto se considerará lo que resulte aplicable de la norma de ensayo E-748, numeral 5.5 de las normas de ensayo de materiales 2013.

- Pesar por separado en bandejas para cada muestra de ensayo la cantidad adecuada de cada fracción que produzca una cochada que dé como resultado una muestra compactada de $2,5 \pm 0,1$ " de espesor ($63,5 \pm 1,3$ mm).
- Colocar las bandejas con la mezcla asfáltica natural y material de aporte (en caso necesario) en el horno y se calientan a una temperatura aproximada de 10 °C, por encima de la de mezclado.
- Colocar en la bandeja de mezclado cada uno de los materiales a mezclar previamente pesados en las cantidades definidas. En este punto, la temperatura de la mezcla asfáltica natural y

agregados pétreos de aporte debe estar cercana a los límites de la temperatura de mezclado establecida anteriormente. Se mezclan enérgicamente los materiales de manera uniforme con el palustre hasta obtener una mezcla homogénea.

Debe evitarse la pérdida de material durante el mezclado y luego durante su manejo.

3.5 Compactación de las muestras (briquetas).

Al respecto se considerará lo que resulte aplicable de la norma de ensayo E-748, numeral 5.6 de las normas de ensayo de materiales 2013.

- Colocar toda la cochada preparada dentro del molde, emparejando la mezcla con la espátula unas 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en la parte central. Se quita el collar y se alisa suavemente la superficie hasta obtener una forma ligeramente redondeada. Inmediatamente antes del proceso de compactación, la temperatura de la mezcla debe estar muy cercana a los límites de la temperatura de compactación establecida, o de lo contrario deberá descartarse.

- Colocar nuevamente el collar de extensión, colocar el molde en el sostenedor y ubicarlo en el pedestal de compactación. Se aplican 75 golpes con el martillo. Se quita la base y el collar, se le da vuelta y se vuelve a armar el conjunto. Se aplica el mismo número de golpes (75) a la cara opuesta de la muestra. Después de la compactación se quita la base del molde y se expone la muestra a la temperatura ambiente dentro del molde. Se saca la muestra del molde por medio de un extractor o de cualquier otro aparato de compresión. Se coloca en una superficie lisa y se enrasa la superficie antes de llevarla al ensayo. Las muestras que presente una variación de ± 0.1 " (2,5 mm), en relación con el espesor especificado 2,5" (63 mm), se deben rechazar.

Nota: *El ensayo de estabilidad y flujo no se debe efectuar sino pasadas 16 horas después de la compactación. Si la muestra debe ser almacenada por más de 24 horas, antes del ensayo, se debe proteger de la exposición al aire mediante sellado en un recipiente cerrado a prueba de aire.*

4. ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS

Al respecto se considerará lo que resulte aplicable de las normas de ensayo E-736 Porcentaje de Vacíos con aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas y E-799 Análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas.

Para realizar la determinación del volumen de vacíos con aire V_v y vacíos en el agregado mineral VAM, es necesario determinar los siguientes parámetros a las mezclas asfálticas en estado suelto y compactada:

- La gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada mediante el procedimiento descrito en algunas de las normas E-733 y E-734.
- Se determina la gravedad específica máxima de cada una de las mezclas asfálticas evaluadas siguiendo el procedimiento definido en la norma E-735.

5. ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

Al respecto se considerará lo que resulte aplicable de la norma de ensayo E-748 Estabilidad y flujo de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall, numeral 6 de las normas de ensayo de materiales 2013.

Después de determinada la gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada se deben garantizar los siguientes requisitos para los ensayos de estabilidad y flujo:

- Permanencia de la muestra durante 2 horas, antes de ensayarse, en el baño de aire a $77^{\circ}\text{F} \pm 1^{\circ}\text{F}$ ($25 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$).
- Establecer la limpieza de las guías y de la superficie interior del anillo de prueba y lubricar las guías para garantizar que el segmento superior del anillo se deslice libremente sobre ellas. La temperatura del anillo de prueba debe mantenerse entre 70°F y 80°F ($21,1$ a $26,7^{\circ}\text{C}$), utilizando el baño de agua, si ello fuere necesario. Verifíquese el ajuste en "0" del medidor de flujo (deformímetro) y el dispositivo de medición de la carga (anillo).
- Se saca la muestra del baño de aire, se coloca en la parte inferior del anillo de prueba, luego se ajusta la parte superior de dicho anillo y se centra el conjunto en el dispositivo de carga. Se coloca el medidor de flujo (deformímetro) sobre la barra guía marcada.
- Aplicar la carga de ensayo a la muestra a una tasa de deformación constante de $2''/\text{min}$ ($50.8 \text{ mm}/\text{min}$) hasta que ocurra la falla. El punto de falla está

definido por la lectura obtenida en la carga máxima. El número total de libras(N) que sea necesario para producir la falla de la muestra a 77°F (25.6°C), se considera como valor de su estabilidad Marshall.

- Mientras se hace el ensayo de estabilidad manténgase el medidor de flujo fuertemente en posición sobre la barra guía y retírese en el instante en que empiece a decrecer, o sea, bajo la carga máxima. Se debe anotar el valor de flujo indicado, cuyas unidades son 0.01" (0.25 mm).
- Promediar los valores de estabilidad y flujo para todas las muestras con cada contenido de ligante. Los valores que obviamente no estén cercanos entre sí deben obedecer a errores y por lo tanto no se consideran dentro del promedio.

6. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA

- Se deben seleccionar las mezclas asfálticas que cumplan con todos los requerimientos de diseño exigidos en la tabla A1.
- Se debe preparar un grupo de por lo menos 6 muestras de ensayo con las mezclas seleccionadas siguiendo el procedimiento descrito en el numeral 3.
- Se determina la gravedad específica bulk de cada mezcla asfáltica compactada y se obtiene el valor promedio. Se dividen las muestras en dos grupos de tal manera que la gravedad específica bulk de cada uno de los dos grupos sea, en lo posible, cercano al promedio general.
- Colocar un grupo de las muestras de ensayo a temperatura ambiente en un baño de aire (aireador) a 77°F ± 1°F (25 ± 0.6 °C), durante dos horas antes de ensayarlas para estabilidad y flujo a la misma temperatura.
- Colocar el otro grupo de muestras de ensayo en otros recipientes y mantenerlas a temperatura ambiente por un periodo de 16 a 24 horas. Posteriormente se sumergen durante 4 días en un baño de agua a temperatura 77 ± 1°F (25 ± 0.6 °C), antes de ensayarlas para flujo y estabilidad a la misma temperatura.
- Calcular el porcentaje de estabilidad retenida después de la inmersión, en relación con el promedio de estabilidad Marshall de cada grupo de muestras de ensayo.

7. CRITERIO PARA ELEGIR UNA MEZCLA SATISFACTORIA

El criterio de diseño recomendado para la determinación de la confiabilidad de los diseños de mezclas asfálticas naturales puede verse en la tabla A1.

8. SELECCIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA NATURAL SATISFACTORIA

Comúnmente la mezcla asfáltica satisfactoria se determina por la comparación de las propiedades dadas por los ensayos y el criterio de diseño de mezclas de la tabla A1, si alguno de los criterios no se cumple o es muy estrecho, se deben seleccionar otras mezclas naturales, corregir la proporción del agregado de aporte, sustituir una de las fuentes de agregado, entre otras soluciones posibles.

Tabla A1. Criterios de diseño Marshall para mezclas de pavimentación con asfalto líquido

CARACTERÍSTICAS	Mínimo	Promedio	Máximo
<i>Grado de curado</i>			
% solvente evaporado			
Para mantenimiento		25 (no aplica)	
Para pavimentación		50 (no aplica)	
Numero de golpes por capa		75	
% Vacíos en la mezcla	3	-	5
% Vacíos en los agregados	Ver tabla A2		
<i>Estabilidad lb. (25 °c)</i>			
Para mantenimiento	500		
Para pavimentación	750		
Flujo 0.01" (25 °c)	8		16
Estabilidad residual			
Después de inmersión	75		
Durante 4 días a 25°C			

Tabla A2. Porcentaje mínimo de vacíos en los agregados

TAMIZ	Mínimo % de vacíos
1"	13
3 / 4"	14
1 / 2"	15
3 / 8"	16
# 4	18
# 8	21
# 16	23.5

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Normas de ensayos de Materiales 2013, Instituto Nacional de Vías.
- Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras 2013, Instituto Nacional de Vías.
- Manual MS-14: Manual de Mezclas Asfálticas en Frío. Instituto Norteamericano del Asfalto, apéndice H, 1989
- Manual MS-2: Los métodos de diseños de mezclas para concreto asfáltico.
- Instituto Norteamericano del Asfalto, Tecnología del asfalto y prácticas de construcción, 1985.