

MEMORANDUM

PARA: Ing. Tania Ávila Esquivel, Unidad de Capacitación y Transferencia de Tecnología

CC: Ing. Roy Barrantes Jiménez, Coord. Unidad de Gestión y Evaluación de la R.V.N.
Ing. Luis Guillermo Loría, Ph.D., Coordinador General PITRA
Ing. Fabián Elizondo Arrieta, MBA, Sub Coordinador General PITRA
Ing. Adriana Vargas Nordbeck, Ph.D., Unidad de Materiales y Pavimentos
Ing. Ellen Rodríguez Castro, Unidad de Materiales y Pavimentos
Ing. Mónica Jiménez Acuña, Unidad de Materiales y Pavimentos
Ing. Andrea Ulloa Calderón, Unidad de Materiales y Pavimentos
Ing. Fabricio Leiva Villacorta, Ph.D., Unidad de Materiales y Pavimentos

DE: Ing. José Pablo Aguiar, Ph.D., Coordinador de la Unidad de Materiales y Pavimentos

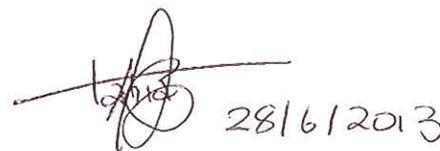
ASUNTO: Modificación División 400 CR-2010

FECHA: 28 de Junio del 2013

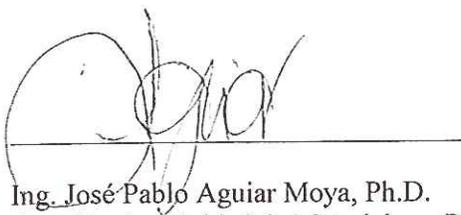
Estimada Ing. Ávila,

En concordancia con la solicitud presentada en el memorando LM-UDAET-01-13 el 8 de Febrero del presente año, le hago entrega de la propuesta de actualización que hace la Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA, para con la División 400 del CR-2010. Específicamente la misma abarca la temática relacionada con las mezclas asfálticas en caliente.

Agradeciendo su atención, se suscribe atentamente,



28/6/2013



Ing. José Pablo Aguiar Moya, Ph.D.
Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DE
TRANSPORTE



Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

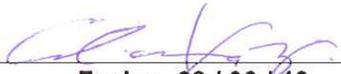
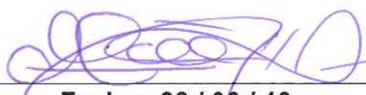
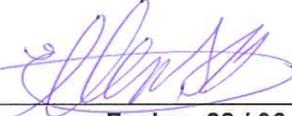
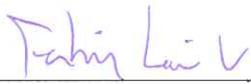
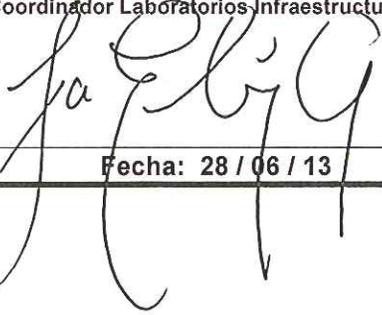
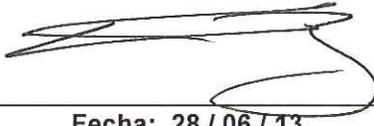
INFORME: LM-PI-UMP-016-R1

PROPUESTA MODIFICACIÓN DIVISIÓN 400 CR-2010 - MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica
Junio, 2013

Información técnica del documento

1. Informe LM-PI-UMP-016 R1		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: PROPUESTA MODIFICACIÓN DIVISIÓN 400 CR-2010 - MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE		4. Fecha del Informe Junio, 2013
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <i>En concordancia con los mandatos de investigación sobre los problemas de la infraestructura vial pavimentada del país que le otorga la Ley N° 8114, su reforma mediante la Ley N° 8603 y el Decreto N° 37016 - MOPT al Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR), y con la finalidad de colaborar en la actualización del CR-2010, la Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA ha venido trabajando en una propuesta de mejora para la División 400 del CR-2010. La intención de esta propuesta es colaborar con la Comisión de Revisión Permanente del CR-2010 en la actualización de la División precitada. Para tal efecto, el siguiente documento presenta un la propuesta de actualización a dicha especificación en lo concerniente a el uso de mezclas asfálticas en caliente y mezclas tibias y pretende cubrir todo lo necesario para asegurar el correcto uso de este tipo de material.</i>		
10. Palabras clave CR-2010, Mezcla asfáltica en caliente, especificaciones	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas
13. Preparado por:		
Ing. Adriana Vargas Nordcbeck, Ph.D. Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 28 / 06 / 13	Ing. Mónica Jiménez Acuña Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 28 / 06 / 13	Ing. Ellen Rodríguez Castro Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 28 / 06 / 13
Ing. Andrea Ulloa Calderón Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 28 / 06 / 13	Ing. Fabricio Leiva Villacorta, Ph.D. Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 28 / 06 / 13	Ing. José Pablo Aguiar Moya, Ph.D. Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 28 / 06 / 13
14. Revisado por: Ing. Fabián Elizondo Arrieta, M.B.A. Sub Coordinador General PITRA Coordinador Laboratorios Infraestructura Vial  Fecha: 28 / 06 / 13		15. Aprobado por: Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA  Fecha: 28 / 06 / 13

Materiales, mezclas asfálticas y técnicas de preservación

División 400

SECCIÓN 401.) DESCRIPCIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

401.01 DESCRIPCIÓN

Las siguientes secciones cubren los requisitos generales que se aplican a todo tipo de pavimentos de asfalto en caliente y mezclas tibias producidas en planta.

Este trabajo consistirá en una o más capas de mezcla asfáltica en caliente o mezcla tibia, construidos de acuerdo con las especificaciones planteadas en las secciones 401.) hasta 409.), los requisitos específicos del tipo de mezcla y en conformidad con los niveles, pendientes, espesores y sección típica indicada en los planos o establecida por el Ingeniero Responsable. De usarse mezclas asfálticas tibias, se deberá definir de previo una tecnología de mezcla tibia para producción en planta antes del inicio de producción y deberá tener el debido visto bueno del Contratante.

Este trabajo también deberá incluir la preparación de las capas subyacente, sobres las cuales la mezcla se deberá colocar, incluyendo bacheos y nivelación según lo establecido en planos o indicado por el Contratante.

Las secciones 401.) a 409.) se deberán utilizar de la siguiente manera:

1. **Requisitos de Materiales.** Los requisitos de los materiales a ser utilizados en la producción de mezcla asfáltica en caliente o mezcla tibia deberán conformarse a lo establecido en la Sección 402.) Materiales.
2. **Método de Diseño de Mezcla.** La mezcla asfáltica en caliente o la mezcla tibia podrá ser diseñada según lo establecido en la Sección 403.) Método de Diseño Marshall o la Sección 404.) Método de Diseño Superpave. La escogencia del método de diseño es responsabilidad del Ingeniero de Proyecto.
3. **Mezclas Asfálticas Especiales.** En caso de que los planos y especificaciones establezcan el uso de mezclas asfálticas con granulometrías discontinuas, las mismas deberán adicionalmente apegarse a lo establecido en la Sección 405.) Mezclas Asfálticas Especiales.
4. **Usos de la Mezcla Asfáltica.** Dependiendo del uso que se le dará a la mezcla asfáltica, la misma deberá cumplir con los requisitos de desempeño establecidos en la Sección 406.) Requisitos para Mezcla Asfáltica Según su Uso.
5. **Requisitos de Equipos.** Los requisitos de los equipos a ser utilizados en la producción, transporte, colocación, compactación y acabado deberán conformarse a lo establecido en la Sección 407.) Equipo para Construcción de Pavimentos Asfálticos.

6. **Construcción.** Los requisitos para producir, almacenar, transportar, colocar y compactar la mezcla asfáltica deberán conformarse a lo definido en la Sección 408.) Construcción.
7. **Aceptación y Verificación.** Los requisitos para la aceptación y verificación de la mezcla asfáltica se definen en la Sección 409.) Aceptación y Verificación.

SECCIÓN 402.) MATERIALES

402.01 Agregado para mezcla asfáltica

Las partículas de agregado grueso y fino deben ser duras, durables, resistentes, estables, provenientes de fragmentos de piedra triturada o grava triturada con la calidad requerida y deben obtenerse de piedra triturada, uniformemente graduada de grueso a fino, libre de materia orgánica, grumos, arcillas y materias deletéreas

1. **Agregados Gruesos.** (Retenidos en la malla de 4,75 mm (N° 4). Este material debe consistir en piedra o grava de buena calidad triturada y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría estipulados en la Tabla 402-1 y cumpla con los requisitos establecidos en las Tablas 402-2.
2. **Agregado Fino.** (Pasando mayormente la malla 4,75 mm (N° 4). Este material está formado por arena de piedra quebrada tamizada, y deberá tener una granulometría que, al combinarse con otras fracciones en la proporción adecuada, la mezcla resultante pueda satisfacer la granulometría requerida de la Tabla 402-3 y cumpla con los requisitos establecidos en la Tabla 402-2. La granulometría tiene que cumplir con los requisitos establecidos para cada tipo de mezcla.

Tabla 402-1 Tamaños estándar de agregado procesado

Tamaño Número	Tamaño Nominal de Apertura	Porcentaje pasando los tamices de laboratorio (Apertura), (% Masa / Masa)														
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 1/2 pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 1/2 pulg.)	50 mm (2 pulg.)	37.5 mm (1 1/2 pulg.)	25.0 mm (1 pulg.)	19 mm (3/4 pulg.)	12.5 mm (1/2 pulg.)	9.5 mm (3/8 pulg.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)
1	90 a 37.5mm (3 1/2 a 1 1/2 pulg.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-	-
2	63 a 37.5mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-	-
24	63 a 19 mm (2 1/2 a 3/4 pulg.)	-	-	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 a 25mm (2 a 1 pulg.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
357	50 a 4.75mm (2 pulg. a No. 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	20 a 55	-	0 a 5	0 a 5	-	-	-	-	-
4	37.5 a 19mm (1 1/2 a 3/4 pulg.)	-	-	-	-	100	90 a 100	0 a 15	0 a 15	0 a 5	-	-	-	-	-	-
467	37.5 a 4.75mm (1 1/2 a No. 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	10 a 30	0 a 5	-	-	-	-	-
5	25 a 12.5mm (1 a 1/2 in)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-	-
56	25 a 9.5mm (1 a 3/8 in)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	-	-	-	-	-
57	25 a 4.75mm (1 pulg. a No. 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
6	19 a 9.5mm (3/4 a 3/8 pulg.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-	-
67	19 a 4.75 mm (3/4 pulg. a No. 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
68	19 a 2.36 mm (3/4 pulg. a No. 8)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	30 a 65	5 a 25	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 a 4.75mm (1/2 pulg. a No. 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-	-
78	12.5 a 2.36 mm (1/2 pulg. a No. 8)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 10	40 a 75	5 a 25	0 a 10	0 a 5	-	-
8	9.5 a 2.36mm (3/8 a No. 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-	-
89	9.5 a 1.18mm (3/8 pulg. a No. 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 5	-	-
9	4.75 a 1.18mm (No. 4 a No. 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 5	-	-
10	4.75mm (No. 4 a 0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 to 100	-	-	10 to 30

Fuente: Tabla 1 AASHTO M 43 "Size of Aggregate for Road and Bridge Construction"

Tabla 402-2 Especificaciones de los agregados para mezcla asfálticas

Agregado	Parámetro	Norma	Especificación
Grueso	Abrasión de los Ángeles	AASHTO T 96	40 % máx
	Disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio (5 ciclos)	AASHTO T 104	12 % máx
	Caras fracturadas Capas Intermedias una cara/ dos o más caras	ASTM D 5821	80% / 75 % mín
	Caras fracturadas Capas de rodamiento una cara/ dos o más caras		95% / 90 % mín
	Índice durabilidad	AASHTO T 210	35 % mín
	Partículas friables y arcillosas	AASHTO T 112	Máximo 1,0 %
	No deben usarse agregados con caras pulidas o agregados que contengan carbonato soluble	ASTM D 3042	El residuo insoluble debe ser mayor o igual al 25%
	Pérdida por abrasión en aparato Micro-Deval para bases asfálticas y caminos secundarios ¹	ASTM D 6928	21% máx
	Pérdida por abrasión en aparato Micro-Deval para superficies asfálticas	ASTM D 6928	18% max
Fino	Índice de durabilidad	AASHTO T 210	35 % mín
	Equivalente arena	AASHTO T 176	45 % mín

¹Tabla 1 ASTM D6928 Resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión en aparato Micro-Deval

Tabla 402-3 Graduación requerida para agregado fino

Tamaño de tamiz	Porcentaje Pasando (% masa/masa)				
	Graduación 1	Graduación 2	Graduación 3	Graduación 4	Graduación 5
9,5 mm (3/8 pulg)	100	----	----	100	100
4,75 mm (N° 4)	95 a 100	100	100	80 a 100	80 a 100
2,36 mm (N° 8)	70 a 100	75 a 100	95 a 100	65 a 100	65 a 100
1,18 mm (N° 16)	40 a 80	50 a 74	85 a 100	40 a 80	40 a 80
600 µm (N° 30)	20 a 65	28 a 52	65 a 90	20 a 65	20 a 65
300 µm (N° 50)	7 a 40	8 a 30	30 a 60	7 a 40	7 a 46
150 µm (N° 100)	2 a 20	0 a 12	5 a 25	2 a 20	2 a 30
75 µm (N° 200)	0 a 10	0 a 50	0 a 5,0	0 a 10	----

Fuente: Tabla 1 AASHTO M 29 "Size of Aggregate for Road and Bridge Construction"

402.02 Relleno mineral

1. Relleno mineral consiste en material finamente dividido (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz 0,075 mm (No. 200)) proveniente de rocas, cal hidratada, cemento hidráulico, cenizas volantes u otro material adecuado.
2. Al momento de utilizarse, el material mineral debe estar lo suficientemente seco para no aglomerarse.
3. El relleno mineral debe estar libre de material orgánico e impurezas.
4. La granulometría debe cumplir con lo establecido en la Tabla 402-4.

Tabla 402-4 Especificaciones de la granulometría del relleno mineral

Tamaño del tamiz	Porcentaje pasando (%)
1,18 mm (No. 16)	100
600 µm (No. 30)	97 – 100
300 µm (No. 50)	95 – 100
75 µm (No. 200)	70 – 100

Fuente: ASTM D242/D242M-09 Standard Specification for Mineral Filler For Bituminous Paving Mixtures

5. El relleno mineral debe cumplir con las especificaciones que define la Tabla 402-5.

Tabla 402-5 Especificaciones del relleno mineral

Parámetro	Norma	Especificación
Índice de plasticidad	ASTM D 4318 AASHTO T90	4 máximo
Pérdida por ignición ¹	ASTM C311	12 % máximo

Fuente: ASTM D242/D242M-09 Standard Specification for Mineral Filler For Bituminous Paving Mixtures
¹AASHTOM17

402.03 Asfalto

- Asfalto.** Material bituminoso, que puede producirse en forma natural o se obtiene del procesamiento del petróleo.
- Requisitos de Especificación para la Aceptación de Cementos Asfálticos.** Los cementos asfálticos se clasifican por grado de viscosidad o por grado de desempeño.
- Clasificación por grado de viscosidad.** Los ensayos y las especificaciones que se incluyen en la clasificación por grado de viscosidad del asfalto se muestran en la Tabla 402-6 y en la Tabla 402-7.

Tabla 402-6 Especificaciones para asfaltos clasificados por su viscosidad a 60 °C

Parámetro	Método	Grado de viscosidad					
		AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60 °C (N.s/m ²)	D-2171	250 ±50	500±100	1000±20 0	2000±40 0	3000 ±600	4000±80 0
Viscosidad, 135 °C, (mm ² /s)	D-2170	80 mín	110 mín	150 mín	210 mín	250 mín	300 mín
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, (1/10 mm)	D-5	200 mín	120 mín	70 mín	40 mín	30 mín	20 mín
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta, (°C)	D-92	165 mín	175 mín	220 mín	230 mín	230 mín	230 mín
Solubilidad en tricloroetileno, (%)	D-2042	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
Horno de película delgada, TFO (%)	D-1754						
Pruebas sobre residuo del ensayo de horno de película delgada							
Viscosidad, 60 °C (N.s/m ²)	D-2171	1250 máx	2500 máx	5000 máx	10 000 máx	15 000 máx	20 000 máx
Ductilidad, 25°C, 5 cm /min (cm)	D-113	100 mín _A	100 mín	50 mín	20 mín	15 mín	10 mín

^A Si la ductilidad es menor que 100, se puede aceptar el material si la ductilidad a 15,5 °C es como mínimo 100 a una tasa de 5 cm/min..Fuente: Tabla 1A Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.01.22:04

Tabla 402-7 Especificaciones para asfaltos Clasificados por su Viscosidad a 60°C

Parámetro	Método	Grado de viscosidad					
		AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60 °C (N.s/m ²)	D-2171	250 ±50	500±10 0	1000±2 00	2000±4 00	3000 ±600	4000±8 00
Viscosidad, 135 °C, (mm ² /s)	D-2170	125 mín	175 mín	250 mín	300 mín	350 mín	300 mín
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, (1/10 mm)	D-5	220 mín	140 mín	80 mín	60 mín	50 mín	40 mín
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta, (°C)	D-92	163 mín	177 mín	219 mín	232 mín	232 mín	232 mín
Solubilidad en tricloroetileno, (%)	D-2042	99,0 mín	99,0 mín	99,0 mín	99,0 mín	99,0 mín	99,0 mín
Horno de película delgada, TFO (%)	D-1754						
Pruebas sobre residuo del ensayo de horno de película delgada horizontal horizontal							
Viscosidad, 60 °C (N.s/m ²)	D-2171	1250 máx	2500 máx	5 000 máx	10 000 máx	15 000 máx	20 000 máx
Ductilidad, 25°C, 5 cm /min, (cm)	D-113	100 mín A	100 mín	75 mín	50 mín	40 mín	25 mín

^A Si la ductilidad es menor que 100, se puede aceptar el material si la ductilidad a 15,5 °C es como mínimo 100 a una tasa de 5 cm/min.

Fuente: Tabla 1B Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.01.22:04

4. La Tabla 402-6 se aplica a asfaltos con una susceptibilidad a la temperatura menor que los especificados en la Tabla 402-6. Los asfaltos que cumplan con las especificaciones de la Tabla 402-7 deben cumplir también con las especificaciones de la Tabla 402-6.
5. Para estimar la temperatura de mezclado y compactación se debe hacer el ensayo de densidad del asfalto a 25 °C (ASTM D-70). En la subsección 402.08 se adjuntan las ecuaciones correspondientes.
6. Adicionalmente, el Contratante puede solicitar el cumplimiento, de uno o más, de los parámetros que se detallan en la Tabla 402-8.

Tabla 402-8 Especificaciones Adicionales de Asfalto

Parámetro	Método	Especificación	
Índice de estabilidad coloidal, adim		0,6 Máximo	Índice de inestabilidad coloidal = [asfaltenos (%) + saturados (%)] / [resinas (%) + aromáticos (%)]
Contenido de ceras, %	ASTM UOP-Met-46	3,0 Máximo	
Razón de viscosidades, adim		3,0 Máximo	Razón de viscosidades= [viscosidad absoluta a 60 °C para residuo TFOT (Poise)] / [viscosidad absoluta a 60 °C para asfalto original (Poise)]
Índice de susceptibilidad térmica VTS		3,3 a 3,9	VTS = 11,3358 * [log [log (viscosidad absoluta a 60 °C (cPoise))] – log [log (viscosidad absoluta a 135 °C (cPoise))]]
Pérdida de masa por calentamiento en el horno rotatorio de película delgada (RTFO), %	ASTM D-2872	1,0 Máximo	

Fuente: Norma RTCR 248:1997 Productos del Petróleo Cementos Asfálticos N°26501-MEIC-MOPT Gaceta N° 236 del 8 de diciembre de 1997

7. Los ensayos y las especificaciones que se incluyen en la clasificación por grado de desempeño del asfalto se muestran en la Tabla 402-9.

Tabla 402-9
Especificaciones para asfaltos Clasificados por Grado de Desempeño

Característica	Grado de Desempeño							
	PG 46	PG 52	PG 58	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82	
Promedio 7-días Temperatura Máxima de Diseño de Pavimento (°C)	<46	<52	<58	<64	<70	<76	<82	
Temperatura Mínima de Diseño de Pavimento ¹⁾ (°C)	>-34 >-40 >-46	>-10 >-16 >-22 >-28 >-34 >-40 >-46	>-16 >-22 >-28 >-34 >-40	>-10 >-16 >-22 >-28 >-34 >-40	>-10 >-16 >-22 >-28 >-34 >-40	>-10 >-16 >-22 >-28 >-34	>-10 >-16 >-22 >-28 >-34	
Asfalto Original	230							
Temperatura de Punto de Inflamación, mínima (°C)	135							
Viscosidad, 3 Pa.s, Temperatura de Prueba, máxima (°C)	135							
Módulo de Rigidez al cortante: ²⁾ G* _{senδ} , mín. 1,00-kPa, de 25-mm, Abertura de 1-mm, Temp. de Ensayo a 10-rad/s (°C)	46	52	58	64	70	76	82	
Horno Rotatorio de Película Delgada Vertical (Método de Prueba D-2872)	1,0							
Pérdida de Masa, máxima (%)	1,0							
Módulo de Rigidez al cortante : G* _{senδ} , mín. 2,20 kPa, Plato de 25-mm, 1-mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10 rad/s (°C)	46	52	58	64	70	76	82	
MSCR, AASHTO TP 70: Tránsito Grado "S" J _{m3.2} máx 4.0 kPa ⁻¹ J _{mdiff} máx 75%	46	52	58	64	70	76	82	
Temperatura de ensayo, °C	1,0							
MSCR, AASHTO TP 70: Tránsito Grado "H" J _{m3.2} máx 2.0 kPa ⁻¹ J _{mdiff} máx 75%	46	52	58	64	70	76	82	
Temperatura de ensayo, °C	1,0							
MSCR, AASHTO TP 70: Tránsito Grado "V" J _{m3.2} máx 1.0 kPa ⁻¹ J _{mdiff} máx 75%	46	52	58	64	70	76	82	
Temperatura de ensayo, °C	1,0							
Residuo de Recipiente para Envejecimiento a Presión (AASHTO PP1)	90	90	100	100	100 (110)	100 (110)	100 (110)	
Temperatura de Envejecimiento PAV ³⁾	100 (110)							

Módulo de Rigidez al Cortante	10 7	25	22	19	16	25	22	19	31	28	25	37	34	31	40	37	34
G*/senδ, máx. 5000 kPa, Plato de 8 mm, 2 mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10 rad/s (°C)	4	13	10	7	16	13	22	19	22	19	16	28	25	28	25	31	28
Tránsito Grado "S"																	
G*/senδ, máx. 6000 kPa, Plato de 8 mm, 2 mm de Espacio, Temp. de Prueba a 10 rad/s (°C)	10 7	25	22	19	16	25	22	19	31	28	25	37	34	31	40	37	34
Tránsito Grado "H" y "V"	4	13	10	7	16	13	22	19	22	19	16	28	25	28	25	31	28
Resistencia a la Fluencia a Bajas Temperaturas: ⁴⁾	-24	0	-6	-12	-6	-12	0	-6	0	-6	0	0	-6	0	-6	0	-6
S, máx. 300 MPa, valor m: mín. 0,300, Temp. de Prueba en 60 s (°C)	-30	-18	-24		-18		-12	-18	-12	-18	-12	-18	-12	-18	-12	-18	-12
Tensión Directa: ⁴⁾	-36	-30	-36		-24	-30	-24	-30	-24	-30	-24	-30	-24	-30	-24	-30	-24
Falla de Deformación, mín. 1,0 %, Temp. de Prueba a 1,0 m/minuto (°C)	-24	0	-6	-12	-6	-12	0	-6	0	-6	0	0	-6	0	-6	0	-6
	-30	-18	-24		18		-12	-18	-12	-18	-12	-18	-12	-18	-12	-18	-12
	-36	-30	-36		-24	-30	-24	-30	-24	-30	-24	-30	-24	-30	-24	-30	-24

¹⁾ Las temperaturas del pavimento se estiman por medio de las temperaturas del aire de acuerdo con el método Superpave.

²⁾ Para control de calidad de la producción de cemento asfáltico sin modificar, la medida de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituir a las medidas de cizalla dinámica de G*/senδ en las temperaturas de prueba donde el asfalto es un fluido Newtoniano. Se puede utilizar cualquier norma adecuada para medir la viscosidad, incluyendo viscosímetro capilar o rotacional (Métodos de Prueba D-2170 ó D-2171).

³⁾ La temperatura de envejecimiento PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de estas tres temperaturas 90 °C, 100 °C ó 110 °C. La temperatura de envejecimiento PAV es 100 °C para PG 64 y grados superiores, excepto para climas desérticos donde es 110 °C.

⁴⁾ Si la dureza a la deformación gradual es menor que 300 MPa, no se requiere la prueba de tensión directa. Si la dureza a la deformación está entre 300 y 600 MPa el requerimiento de falla de deformación de la tensión directa se puede utilizar en lugar del requerimiento del esfuerzo a la fluencia. El requerimiento del valor m se debe satisfacer en ambos casos.

Tránsito Grado "S": tránsito menor a 10 millones de ejes equivalentes y velocidades mayores a 70 km/h

Tránsito Grado "H": tránsito entre 10 millones y 30 millones de ejes equivalentes y velocidades mayores entre 20 km/h y 70 km/h

Tránsito Grado "V": tránsito mayor 30 millones de ejes equivalentes y velocidades mayores menores a 20 km/h

Fuente: Tabla 1A Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.01.22.04, AASHTO Designación M 320 y MP 19.

402.04 Asfalto Modificado

1. Se entiende como asfalto modificado al asfalto descrito en 402.03, que es combinado con cualquier tipo de aditivo aprobado por el Contratante, que mejore el Grado de Desempeño, o algunas de las propiedades del asfalto original. Se excluyen los aditivos mejoradores de adherencia.
2. El asfalto modificado se usará en aplicaciones de mezclado en planta en caliente o a juicio del Contratante, como materia prima base en la fabricación de emulsión asfáltica.
3. El asfalto modificado debe clasificarse bajo Grado de Desempeño, de acuerdo con la Tabla 402-9, según el grado de asfalto requerido
4. La temperatura de mezclado para la preparación de mezcla asfáltica no debe exceder 165 °C y la temperatura de compactación se debe mantener de tal manera que se asegure la trabajabilidad, siempre y cuando no exceda la temperatura de mezclado.
5. El Contratante definirá las características de aceptación correspondientes al asfalto modificado, de conformidad con las especificaciones establecidas en la Tabla 402-9. Adicionalmente, se deben cumplir con los requisitos que se establecen en la Tabla 402-10.

Tabla 402-10. Especificaciones para el asfalto modificado

Parámetro	Norma	Especificación
Recuperación elástica	ASTM D 127	60 % mínimo
Punto de ablandamiento	ASTM D 36	Aumentar en 5 °C máximo

6. Los aditivos deben cumplir con lo que se establece en la sección 402.06.

402.05 Emulsiones asfálticas

1. Se entiende como emulsión asfáltica a la dilución en agua de un asfalto, a partir del uso de agentes emulsificantes.
2. Las emulsiones asfálticas son de dos tipos catiónicas y aniónicas. La aplicación de cada uno de los tipos será establecido en la sección o subsección correspondiente.
3. Las emulsiones asfálticas catiónicas deben cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla 402-11 y las emulsiones asfálticas aniónicas, deben cumplir con los con los requisitos establecidos en la Tabla 402-12.

Tabla 402-11. Especificaciones para las emulsiones asfálticas catiónicas

Característica	Método de Ensayo	Tipo						
		Rompimiento						
		Rápido		Medio		Lento		Acelerado
		Grado						
		CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h	CQS-1H
Ensayos a la Emulsión								
Viscosidad, Saybolt Furol a 25 °C (SFS)	ASTM D 244	---	---	---	---	20-100	20-100	20-100
Viscosidad, Saybolt Furol a 50 °C (SFS)	ASTM D 244	20-100	100-400	50-450	50-450	---	---	---
Prueba de estabilidad al almacenamiento, 24 h (%)	ASTM D 6930	1 máx	1 máx	1 máx	1 máx	1 máx	1 máx	
Demulsibilidad, 35 mL (%) - 0,8% sulfocianato de dioctil sodio	ASTM D 6936	40 mín	40 mín	---	---	---	---	---
Aceite destilado, por volumen de emulsión (%)	ASTM D 6997	3 máx	3 máx	12 máx	12 máx	---	---	---
Residuo de destilado (%9	ASTM D 6997	60 mín	65 mín	65 mín	65 mín	57 mín	57 mín	57 mín
Habilidad de revestimiento y resistencia al agua								
Película agregado seco	ASTM D 244	---	---	Buena	Buena	---	---	---
Película después de rociado	ASTM D 244	---	---	Regular	Regular	---	---	---
Película agregado húmedo	ASTM D 244	---	---	Regular	Regular	---	---	---
Película después de rociado	ASTM D 244	---	---	Regular	Regular	---	---	---
Prueba de carga eléctrica de partículas	ASTM D 7402	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
Ensayo de tamizado (malla N° 20), (%) ^(A)	ASTM D 6933	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx
Ensayos al residuo de la destilación								
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s (1/10 mm)	ASTM D 5	100-250	100-250	100-250	40-90	100-250	40-90	40-90
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min (cm)	ASTM D 113	40 mín	40 mín	40 mín	40 mín	40 mín	40 mín	40 mín
Solubilidad en tricloroetileno (%)	ASTM D 2042	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín

^(A) Este ensayo se realiza sobre muestras representativa pero no es necesario si la aplicación en campo ha sido exitosa. (This test requirement on representative samples is waived if successful application of the material has been achieved in the field)

Fuente: Tabla 6 Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.01.22:04

Tabla 402-12. Especificaciones para las emulsiones asfálticas aniónicas

Característica	Método de Ensayo	Tipo							
		Rompimiento							
		Rápido		Medio			Lento		Acelerado
		Grado							
		RS-1	RS-2	MS-1	MS-2	MS-2h	SS-1	SS-1h	QS-1h
Ensayos a la Emulsión									
Viscosidad, Saybolt Furol a 25 °C (SFS)	ASTM D 244	20-100	---	20-100	100 mín	100 mín	20-100	20-100	20-100
Estabilidad al almacenamiento, 24 h (%)	ASTM D 6930	1 máx	1 máx	1 máx	1 máx	1 máx	1 máx	1 máx	
Demulsibilidad, 35 mL (%) - 0,8% sulfocianato de dioctil sodio	ASTM D 6936	60 mín	60 mín	---	---	---	---	---	---
Residuo de destilado (%)	ASTM D 6997	60 mín	65 mín	65 mín	65 mín	65 mín	57 mín	57 mín	57 mín
Habilidad de revestimiento y resistencia al agua									
Película agregado seco	ASTM D 244	---	---	Buena	Buena	Buena	---	---	---
Película después de rociado	ASTM D 244	---	---	Regular	Regular	Regular	---	---	---
Película agregado húmedo	ASTM D 244	---	---	Regular	Regular	Regular	---	---	---
Película después de rociado	ASTM D 6999	---	---	Regular	Regular	Regular	---	---	---
Ensayo de mezclado de cemento, (%)	ASTM D 6935	---	---	---	---	---	2,0 máx	2,0 máx	---
Ensayo de tamizado (malla N° 20), (%) ^(A)	ASTM D 6933	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx	0,10 máx
Ensayos al residuo de la destilación									
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s (1/10 mm)	ASTM D 5	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90	100-200	40-90	40-90
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min (cm)	ASTM D 113	40 mín	40 mín	40 mín	40 mín	40 mín	40 mín	40 mín	40 mín
Solubilidad en tricloroetileno (%)	ASTM D 2042	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín	97,5 mín

^(A) Este ensayo se realiza sobre muestras representativa pero no es necesario si la aplicación en campo ha sido exitosa. (This test requirement on representative samples is waived if successful application of the material has been achieved in the field)

Fuente: Tabla 1 Norma ASTM D 977

4. Cuando se utilicen en riegos de imprimación, se podrá usar una emulsión asfáltica aniónica en vez de una emulsión asfáltica catiónica, siempre que correspondan al mismo grado; igualmente, es factible la sustitución de una emulsión asfáltica catiónica en vez de una emulsión asfáltica aniónica, bajos las mismas condiciones de grado.
5. Para los riegos de imprimación no es necesario el ensayo de tamizado (malla N° 20).

402.06 Pavimento asfáltico Reciclado (RAP)

1. El pavimento asfáltico reciclado debe procesarse de manera adecuada (por trituración y tamizado) para que se obtenga una buena graduación granulométrica y contenido de asfalto. En el proceso de reciclar el pavimento asfáltico no podrá existir en la mezcla ninguna partícula de material reciclado que exceda el tamaño máximo de agregado durante la producción de acuerdo con el diseño de mezcla de la sección 403 o la sección 404. La escarificación del pavimento asfáltico podría ser considerada en el proceso cuando se tenga una graduación uniforme y un contenido de asfalto adecuado.
2. Si se va utilizar este material el grado de desempeño del asfalto se tiene que ajustar para tomar en cuenta el aporte del asfalto del material de reciclado.
3. El material reciclado debe tener un máximo de dos por ciento (2 %) de material deletéreo.
4. Para contenidos de RAP menores al 15 % no es necesario ajustar la clasificación del asfalto que se requiere.
5. Para contenidos de RAP entre un 15 % y 25 %, se debe reducir en un grado el valor superior del tipo de asfalto a utilizar especificado de acuerdo con la clasificación de Grado de Desempeño.
6. Para contenidos mayores al 25% se debe determinar el grado apropiado del asfalto a utilizar, mediante gráficos de mezcla de asfaltos (blending charts).
7. Cuando sea necesario, con previa aprobación del Contratante, se pueden utilizar agentes rejuvenecedores para alcanzar el grado de desempeño establecido en el diseño de mezcla.
8. Para el diseño de mezcla, se deberá usar la gravedad específica del asfalto original y la gravedad específica del asfalto del RAP.
9. La gravedad específica efectiva del agregado del RAP, deberá aproximarse a partir la gravedad específica máxima teórica del RAP, para utilizarla en el cálculo de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica.
10. La composición y requerimientos de la mezcla asfáltica deberá ajustarse a lo establecido en la Sección 403,404 ó 405.
11. Para cada dosificación de diseño, se deberán suministrar muestras de acuerdo con la Subsección de diseño correspondiente. Adicionalmente se deben entregar las siguientes muestras e información:
 - a. Muestras del agregado reciclado (RAP) y agentes rejuvenecedores por incorporar, de acuerdo con la dosificación de diseño. En las cantidades señaladas por el Contratante.
 - b. Cuando sea necesario suministrar una muestra del pavimento existente, se deberá escarificar hasta la profundidad de remoción en las áreas definidas por el Contratante. Se sustituirá la porción de pavimento removida con una mezcla asfáltica aprobada por el Contratante.
 - c. Informes de laboratorio para el cemento asfáltico reciclado, el nuevo asfalto y el agente rejuvenecedor, de manera que se demuestre el cumplimiento del grado requerido para la combinación de dichos cementos asfálticos, en las proporciones establecidas por la dosificación de diseño, de acuerdo con la Sección 402.03.

402.07 Aditivos

Son los materiales que se adicionan al asfalto o a la mezcla asfáltica para mejorar las propiedades de los materiales y su desempeño.

402.07.01 Aditivos modificadores

1. Son aditivos que se adicionan al asfalto para modificar sus propiedades físicas y reológicas y disminuir su susceptibilidad a la temperatura, a la humedad y a la oxidación.
2. Los aditivos se deben agregar directamente al asfalto antes de mezclarlo con el agregado, a no ser que el fabricante indique lo contrario.
3. El proveedor del aditivo debe aportar la siguiente información: (Fuente AASHTO R 15)
 - a. Nombre de material (marca, nombre genérico y la identificación química)
 - b. Fabricante (compañía, dirección, número de teléfono, país)
 - c. Propiedades físicas del material
 - d. Hoja de seguridad del material
 - e. Indicar las propiedades que mejora el aditivo en el asfalto.
 - f. Indicar los ensayos que demuestran la mejoría de las propiedades del asfalto con la incorporación del aditivo.
 - g. Instrucciones de uso específicas: dosis, método de adición (temperatura y tiempo de mezclado) y restricciones de uso.

402.07.02 Aditivos Mejoradores de Adherencia

1. Líquidos. Producto comercial de alta estabilidad al calentamiento, que cuando es incorporado en el asfalto favorece las propiedades químicas y físicas apropiadas para minimizar la separación del cemento asfáltico y el agregado en la mezcla.
2. Cal. Existen dos tipos de cal utilizados para reducir la susceptibilidad al agua en mezclas asfálticas.
 - a. **Tipo I.** Cal hidratada con alto contenido de calcio. Debe cumplir con lo que se establece en las Tablas 402-13 402-14, 402-15 y 402-16. La composición química debe determinarse con la norma AASHTO T 29 y el óxido de magnesio se determina con la norma ASTM C 25.
 - b. **Tipo II.** Magnesio o cal dolomítica que contiene magnesio. Debe cumplir con lo que se establece en Tablas 402-13 402-14, 402-15 y 402-16. La composición química debe determinarse con la norma ASTM C 25.

Tabla 402-13 Especificaciones para el contenido de magnesio

Cal	Parámetro	Norma	Especificación
Tipo I	Magnesio, calculado como óxido de magnesio	ASTM C25	4 % máximo
Tipo II	Magnesio, calculado como óxido de magnesio	ASTM C25	Entre 4 % - 36 %

Fuente: AASHTOM 303 Standard Specification for Lime for Asphalt Mixtures

Tabla 402-14 Especificaciones para la cal Tipo I y Tipo II

Parámetro	Norma	Especificación
Contenido total de cal activa (masa de $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CaO}^1$), % m/m	AASHTO T29	90 % mínimo
Contenido de cal no hidratada (masa de CaO), % m/m	AASHTO T29	7 % máximo
Contenido de agua libre(masa de H_2O), % m/m	AASHTO T29	3 % máximo

¹ El porcentaje de óxido de calcio no debe exceder el 7%

Fuente: AASHTO M 303 Standard Specification for Lime for Asphalt Mixtures

Tabla 402-15 Especificaciones para la cal Tipo II (se ensaya con la norma ASTM C 25)

Parámetro	Norma	Especificación
Contenido óxido de calcio y de magnesio como residuo de ignición % m/m ¹	ASTM C25	96% mínimo
Dióxido de carbono, %	ASTM C25	4 % máximo
Óxido de calcio no hidratado de H ₂ O), % m/m	ASTM C25	7 % máximo

¹La ignición a masa constante debe realizarse usando un horno eléctrico de mufla que opere entre 1000 °C y 1100 °C
Fuente: AASHTO M 303 Standard Specification for Lime for Asphalt Mixtures

Tabla 402-16 Especificaciones para el tamaño de partícula de la cal

Parámetro	Norma	Especificación
Residuo retenido en malla 600 μm (N° 30)	AASHTO T 29	3,0 % máximo
Residuo retenido en malla 75 μm (N° 200)	AASHTO T 29	20 % máximo

Fuente: AASHTO M 303 Standard Specification for Lime for Asphalt Mixtures

- c. El muestreo de la cal para los ensayos indicados anteriormente se debe realizar de acuerdo con la norma AASHTO T 218

402.07.03 Agentes rejuvenecedores o de reciclado

1. El agente rejuvenecedor es un material orgánico cuyas características químicas y físicas tienen el propósito de devolverle al asfalto envejecido las condiciones necesarias para el buen comportamiento de la nueva mezcla, según lo establezca el Contratante.
2. El fabricante debe indicar la dosificación y las condiciones de dispersión del agente rejuvenecedor.
3. Los agentes rejuvenecedores se pueden utilizar en mezclas asfálticas calientes o frías.
4. La selección del agente rejuvenecedor depende de la dureza del asfalto del pavimento reciclado, en general los agentes rejuvenecedores de menor viscosidad se pueden utilizar para asfaltos reciclados de viscosidad alta y viceversa.
5. Los agentes rejuvenecedores para mezclas asfálticas calientes se clasifican como se establece en la Tabla 402-17.

Tabla 402-17 Propiedades físicas de los agentes rejuvenecedores de mezclas asfálticas

Parámetro	Método	Grado de viscosidad					
		RA 1	RA 5	RA 25	RA 75	RA 250	RA 500
Viscosidad, 60 °C (mm ² /s)	ASTM D-2171	50-175	176-900	901- 4500	4501- 12 500	12 501- 37 500	37 501 – 60 000
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta, (°C)	ASTM D-92	129 mín	129 mín	129 mín	129 mín	129 mín	129 mín
Solubilidad en tricloroetileno, (%)	ASTM D-2007	30 máx	30 máx	30 máx	30 máx	30 máx	30 máx
Horno de película delgada, TFO ó RTFO	ASTM D-1754 ó ASTM D-2872						
Pruebas sobre residuo del ensayo de horno sobre película delgada							
Razón de Viscosidad ^A		3 máx	3 máx	3 máx	3 máx	3 máx	3 máx
Cambio de masa (%)		4 máx	4 máx	4 máx	4 máx	4 máx	4 máx
Gravedad específica	ASTM D 70 ó ASTM D1298	Reportar	Reportar	Reportar	Reportar	Reportar	Reportar

Nota 1. Estos requisitos deben ser cumplidos por el asfalto extraído del pavimento a reciclar combinado con el agente rejuvenecedor. La combinación debe estar conforme con la razón entre agente rejuvenecedor y asfalto recuperado usado en la mezcla. La mezcla resultante debe cumplir con el grado de viscosidad apropiado (Tablas 402-5 y 402-6) o grado de desempeño establecido en el diseño (Tabla 402-8)

$$^A \text{ Razón de viscosidad} = \frac{\text{Viscosidad del residuo del RTFO a } 60^\circ\text{C en cSt}}{\text{Viscosidad original a } 60^\circ\text{C en cSt}}$$

Fuente: Tabla 1 ASTM D 4552

6. Generalmente, los agentes rejuvenecedores RA 1, RA 5, RA 25, y RA 75 son recomendables cuando el asfalto recuperado no supera el 30 % del agregado nuevo adicionado, en caso contrario son recomendables los agentes rejuvenecedores RA 250 y RA 500.
7. Todos los agentes rejuvenecedores deben ser homogéneos y fluir libremente a las temperaturas de bombeo.

402.08 Anexo

Estimación de temperaturas de mezclado y compactación

1. El objetivo fundamental de la determinación de las temperaturas de mezclado y compactación del asfalto es estimar los rangos aceptables para producir y colocar la mezcla asfáltica en caliente.
2. Los ensayos de viscosidad se hacen al asfalto original. El criterio de equi-viscosidad no aplica para los asfaltos modificados con polímeros, ya que presentan desviaciones significativas en las temperaturas altas, sin embargo se puede aplicar a asfaltos envejecidos teniendo en cuenta que aumentan su rigidez por lo que no deben ser utilizados para mezclarse sin un tratamiento previo para reducir su viscosidad.
3. El gráfico de equi-viscosidad se construye a partir de los siguientes ensayos:
 - a. ASTM D2171 "Método de ensayo para la viscosidad de asfaltos mediante viscosímetro capilar al vacío"

- b. ASTM D 2170 "Método de ensayo para la viscosidad cinemática de asfaltos (bitumen)".
4. Con los resultados de ensayo de la viscosidad absoluta al vacío a 60 °C y la viscosidad cinemática a 135 °C, se construye una gráfica de viscosidad con respecto a la temperatura según la Norma ASTM D 2493 "Gráfico de viscosidad-temperatura para asfaltos"

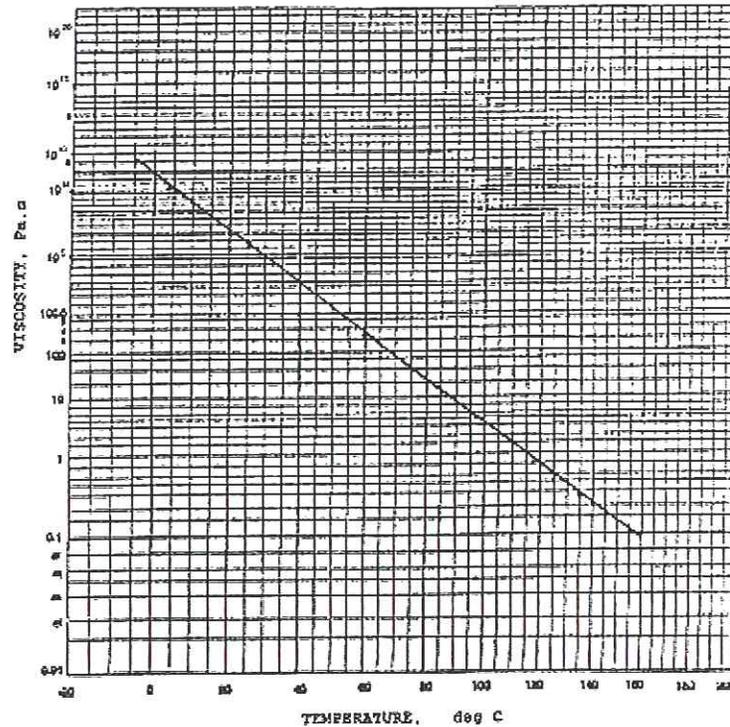


Figura 402-1 Ejemplo de un gráfico viscosidad-temperatura
Fuente : Norma ASTM D 2493

5. Una vez construida la gráfica se evalúan los rangos sugeridos en el documento del Instituto de asfalto, MS-2 "Métodos de diseño para concreto asfáltico".
6. Según el manual MS-2 se evalúa el rango de viscosidades comprendido entre (170 ± 20) cSt para el rango de temperatura de mezclado y (280 ± 30) cSt para el rango de temperatura de compactación.
7. La viscosidad absoluta se mide en unidades de Poise o Pascal segundo y la viscosidad cinemática se mide en centiStokes (cSt). Para construir el gráfico de equi-viscosidad se deben tener las viscosidades en las mismas unidades.
8. Para transformar las unidades de centiStokes a Paises, se debe conocer la densidad del asfalto a 25 °C y aplicar la ecuación (1):

$$\eta[cSt] = \frac{\eta [P] \cdot 100}{\rho[g/cm^3]} \quad (1)$$

9. Posteriormente, se aplica logaritmo a todos los datos de viscosidad para obtener una función trazar un gráfico lineal. Con la ecuación de la recta se obtiene el valor de la pendiente y el intercepto:

$$\text{Log log}(\eta)[cSt] = m \cdot T[^\circ C] + b \quad (2)$$

10. Con la ecuación de la recta se obtiene las temperaturas correspondientes a las viscosidades de 150 cSt y 170 cSt, para el mezclado. Para la compactación se estiman las temperaturas para las viscosidades de 250 cSt y 310 cSt.
11. Aunque la recta se puede trazar con dos, es conveniente evaluar al menos dos temperaturas altas para obtener la tendencia de la viscosidad del asfalto.
12. A continuación se ilustra el procedimiento con un ejemplo. Los resultados de viscosidad y densidad para una muestra de asfalto se muestran en la Tabla 402-18.

Tabla 402-18. Resultados de ensayos realizados al asfalto

Ensayo	Método de ensayo	Resultados	Unidades
Densidad a 25°C	ASTM D 70	1,032 ± 0,001	g/cm ³
Viscosidad cinemática de asfaltos 125°C	ASTM D2170	907 ± 5	cSt
Viscosidad cinemática de asfaltos 135°C	ASTM D2170	530 ± 2	cSt
Viscosidad cinemática de asfaltos 145°C	ASTM D2170	334 ± 2	cSt
Viscosidad absoluta a 60°C	ASTM D2171	3023 ± 58	Poise

13. El primer paso es convertir la viscosidad absoluta de Posises a centiSokes. Para lo cual se aplica la ecuación 1.

Tabla 402-19. Viscosidades en unidades de centiStokes

Ensayo	Temperatura [°C]	Viscosidad, η [cSt]
Viscosidad al vacío	60,0	295335
Viscosidad Dinámica	125,0	907
Viscosidad Dinámica	135,0	530
Viscosidad Dinámica	145,0	334

14. Posteriormente, los datos de viscosidad en centiStokes se linealizan aplicando log(log(η)), los resultados se muestran en la Tabla 402-20

Tabla 402-20. Viscosidades con valores linealizados

Ensayo	Temperatura [°C]	Viscosidad, η [cSt]	LogLog(η) [cSt]
Viscosidad al vacío	60,0	295335	0,47
Viscosidad Dinámica	125,0	907	0,44
Viscosidad Dinámica	135,0	530	0,40
Viscosidad Dinámica	145,0	334	0,74

15. El paso siguiente es construir la gráfica de viscosidad con respecto a la temperatura. La viscosidad debe estar en centiStokes y la temperatura en grados Celsius.

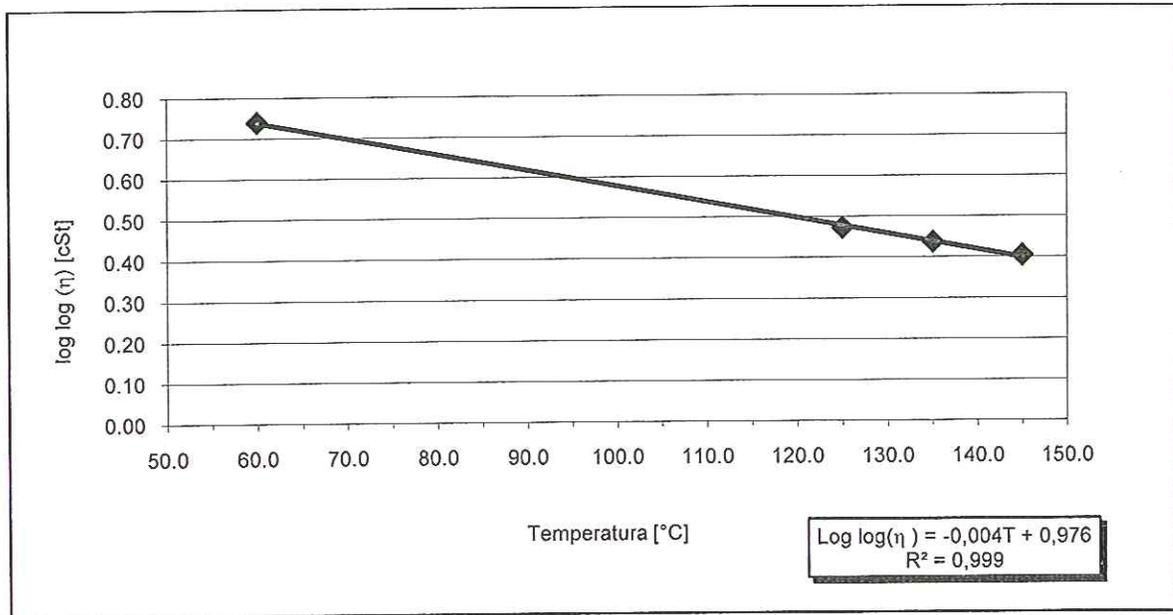


Figura 402-2. Gráfico viscosidad-temperatura utilizando los datos de la Tabla 3.

16. Con el gráfico que se muestra en la Figura 402-2, se estima la función lineal que se ajusta a los datos. En la ecuación 3 se muestra la función que se ajusta a los datos del ejemplo.

$$\text{Log log}(\eta) = -0,004 \cdot T + 0,976 \quad (3)$$

17. Para estimar los límites de temperatura de mezclado y compactación, se estima el logaritmo de los valores extremos de los rangos definidos por el manual MS-2 ((170 ± 20) cSt para el mezclado y (280 ± 30) cSt para la compactación)

Tabla 402-21. Rango de viscosidad para las condiciones de mezclado y evaluación

Condición en evaluación	Rango de viscosidad, η [cSt]			Rango de Log log(η) [cSt]		
	Inferior		Superior	Inferior		Superior
Rango de viscosidad para mezclado	150	170	190	0,338	0,348	0,358
Rango de viscosidad para compactación	250	280	310	0,380	0,389	0,396

18. Con los datos de la Tabla 402-21 y con la ecuación 3 se calculan los rangos de temperatura para el mezclado y la compactación.

Tabla 402-22. Estimación de temperatura para el mezclado

Log log(η) [cSt]	Pendiente, m	Temperatura [° C]	Intercepto, b
0,358	-0,004	155	0,9762
0,348	-0,004	157	0,9762
0,338	-0,004	160	0,9762

Tabla 402-23. Estimación de temperatura para el mezclado

Log log(η) [cSt]	Pendiente, m	Temperatura [° C]	Intercepto, b
0,396	-0,004	145	0,9762
0,389	-0,004	147	0,9762
0,380	-0,004	149	0,9762

19. Con estos resultados se reportan los rangos de temperatura trabajo para mezclado y la compactación, que se indican en la Tabla 402-24.

Tabla 402-24. Estimación de temperatura para el mezclado

Temperaturas de trabajo	Límite	
	Superior	Inferior
Temperatura de mezclado (°C)	155	160
Temperatura de compactación (°C)	145	149

20. Las viscosidades a altas temperaturas se pueden obtener mediante la medición de la viscosidad cinemática (Norma ASTM D 2170), de la viscosidad dinámica con viscosímetro rotacional (ASTM D 4402) o de la viscosidad compleja con el reómetro dinámico de cortante (Norma ASTM D 7175).

Sección 403.) DISEÑO DE MEZCLA MARSHALL

403.01 Descripción

Este trabajo consiste en la construcción de una o más capas de pavimento asfáltico en caliente diseñadas conforme al método Marshall.

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados previamente seleccionada con un tamaño máximo de 25 mm (1 pulg) o menor; que provee además información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall modificado permite el uso de agregados con tamaño máximo de 38 mm (1 ½ pulg), y su diseño básicamente es el mismo que el método original con la diferencia que utiliza especímenes de mayor tamaño, como lo establece el MixDesignMethodsforAsphalt Concrete and Other Hot Mixes Types (MS-2), AsphaltInstitute.

Además, de los requisitos expuestos en esta sección se deben cumplir las especificaciones de desempeño de la mezcla asfáltica definidas en la sección 406.

403.02 Materiales

Los materiales a utilizar en la producción de mezclas asfálticas son: agregados gruesos y finos, relleno mineral, asfalto y aditivos. Cada uno debe cumplir con los requisitos de la Sección 402.

403.03 Granulometrías de Tipo Marshall

Las granulometrías de agregados para la mezcla asfáltica en caliente se muestran en la Tabla 403-1.

Tabla 403-1. Granulometría densa para mezcla asfáltica en caliente, rangos requeridos para Marshall

Malla mm	Porcentaje por peso que pasa la malla estándar (AASHTO T 27 y AASHTO T 11)					
	Designación de la Granulometría					
	A	B	C	D	E	F
37,5	100 ⁽¹⁾	-	-	-	-	-
25	97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	-	-	-
19	-	97-100 ⁽¹⁾	97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	-
12,5	-	76-88(±5)	* (±5)	97-100 ⁽¹⁾	97-100 ⁽¹⁾	-
9,5	53-70(±6)	-	* (±6)	-	* (±5)	100 ⁽¹⁾
4,75	40-52(±6)	49-59(±7)	* (±7)	57-69(±6)	* (±6)	33-47(±6)
2,36	-	-	-	-	-	-
1,18	25-39(±4)	36-45(±5)	* (±5)	41-49(±6)	* (±6)	7-13(±4)
600 μm	12-22(±4)	20-28(±4)	* (±4)	22-30(±4)	* (±4)	-
300 μm	8-16(±3)	13-21(±3)	* (±3)	13-21(±3)	* (±3)	-
150 μm	-	-	-	-	-	-
75 μm	3-8(±2)	3-7(±2)	3-8(±2)	3-8(±2)	3-8(±2)	2-4(±2)

(1) El procedimiento estadístico no aplica.

* El Contratante especifica el valor del rango y límites

() Desviación permisible

403.04 Diseño de mezcla asfáltica Marshall

La preparación de los especímenes de diseño de mezcla se debe hacer de acuerdo con el método AASHTO T 245 (INTE 04-01-10) para la escogencia del contenido óptimo de asfalto.

1. Golpes de compactación.

El proceso de compactación se realiza mediante una serie de golpes con el martillo Marshall sobre ambas caras de la muestra, según el propósito y tránsito esperado de la mezcla que se está diseñando, como se establece en la Tabla 403-2.

Tabla 403-2 Número de golpes del martillo Marshall dependiendo del tránsito esperado según la metodología original

Condición de tránsito que resultan en un ESALs de diseño (millones):	Alto	Medio	Bajo
	>10 hasta 30	Entre 0,3 y 10	<0,3
Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo	75	50	35

Fuente: Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mixes Types (MS-2), Asphalt Institute.

2. Parámetros volumétricos de diseño Marshall.

La volumetría de la mezcla para encontrar el contenido de asfalto óptimo debe cumplir los parámetros establecidos en las Tablas 403-3 y 403-4. El flujo y estabilidad Marshall se tienen que medir de acuerdo con el método AASHTO T 245 (INTE 04-01-11).

Tabla 403-3 Requisitos para la mezcla asfáltica Marshall (AASHTO T 245)

Criterios para Mezcla del Método Marshall		Clasificación del tránsito ¹					
		Tránsito Pesado		Tránsito Medio		Tránsito Liviano	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo		75		50		35	
Estabilidad,	N	8006	-	5338	-	3336	-
	(lb)	(1800)	-	(1200)	-	(750)	-
Flujo, 0,25	mm	8	14	8	16	8	18
Porcentaje de vacíos	%	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	%	Ver Tabla 403-4					
Porcentaje de Vacíos llenos de Asfalto (VFA)	%	65	75	65	78	70	80
		b) Relación polvo - asfalto (P/A)					
Relación P/A	%	0,6	1,3	0,8	1,6	-	-

¹Clasificaciones del tránsito
 Liviano Condiciones que resultan en un ESAL de diseño (millones): <0,3
 Mediano Condiciones que resultan en un ESAL de diseño (millones): entre 0,3 y 10
 Pesado Condiciones que resultan en un ESAL de diseño (millones): >10 hasta 30

Fuente: Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mixes Types (MS-2), Asphalt Institute

Tabla 403-4 Porcentajes mínimos de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)

Tamaño Máximo en mm		VMA mínimo, por ciento		
Porcentaje		Vacíos de Diseño, por ciento ³		
mm	pulg	3,0	4,0	5,0
4,75	No. 4	16,0	17,0	18,0
9,5	3/8	14,0	15,0	16,0
12,5	1/2	13,0	14,0	15,0
19	3/4	12,0	13,0	14,0
25	1,0	11,0	12,0	13,0
37,5	1,5	10,0	11,0	12,0

¹Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11(AASHTO M 92)
² El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más de 10 por ciento del material.
³ Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

Fuente: Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mixes Types (MS-2), Asphalt Institute

3. Resistencia al daño por humedad.

- a. **Tensión diametral.** La resistencia a la tensión diametral se debe medir de acuerdo con el método AASHTO T 283 (INTE 04-01-05) y cumplir con lo establecido en la Tabla 403-5.

Los especímenes de ensayo se deben preparar de acuerdo con el método AASHTO T 245 (INTE 04-01-10) con una altura de ensayo de $(63,50 \pm 1,27)$ mm con la fórmula de trabajo y el contenido óptimo de asfalto. El nivel de vacíos de los especímenes a fallar debe ser de $(7,0 \pm 0,5)$ %.

El valor mínimo de la resistencia a la tensión diametral de especímenes sin acondicionar debe cumplir el valor especificado en la sección 406 de acuerdo con el uso de la mezcla asfáltica.

- b. **Compresión uniaxial.** La resistencia a la compresión se debe medir de acuerdo con el método AASHTO T 167 (INTE 04-01-07). Los especímenes de ensayo se deben preparar de acuerdo con el método AASHTO T 165 (INTE 04-01-07). El nivel de vacíos de los especímenes a fallar debe ser de $(7,0 \pm 1,0)$ %. Cumplir con lo establecido en la Tabla 403-5.

Tabla 403-5 Requisitos para la resistencia al daño por humedad

Criterios para Mezcla del Método Marshall		Clasificación del tránsito ¹					
		Tránsito Pesado		Tránsito Medio		Tránsito Liviano	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
a) Tensión Diametral (AASHTO T 283)							
Saturación de especímenes acondicionados	%	70	80	70	80	70	80
Resistencia retenida al daño por humedad a la tensión diametral (RRTD)	%	75	-	75	-	75	-
b) Inmersión - Compresión (AASHTO T 165 y T 167)							
Resistencia a la compresión mínima (especímenes secos)	KPa	2100	-	1700	-	1300	-
Resistencia retenida al daño por humedad a la compresión uniaxial (RRCU)	%	75	-	75	-	75	-
¹ Clasificaciones del tránsito Liviano Condiciones que resultan en un ESAL de diseño (millones): <0,3 Mediano Condiciones que resultan en un ESAL de diseño (millones): entre 0,3 y 10 Pesado Condiciones que resultan en un ESAL de diseño (millones): >10 hasta 30							

403.05 Anexo

1. Cálculo de parámetros volumétricos para la mezcla asfáltica Marshall

Tabla 403-8. Parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica Marshall

Parámetros volumétricos	Ecuación	Variables
Vacios en el agregado mineral, VMA	$VMA = 100 - \frac{G_{bsm} \cdot \%agreg}{G_{bsa}}$	<p>VMA = vacíos en el agregado mineral, (%)</p> <p>G_{bsm} es la gravedad específica de la mezcla.</p> <p>%agreg corresponde al contenido de agregado por peso total de mezcla.</p> <p>G_{bsa} es la gravedad específica bruta del agregado.</p>
Vacios llenos con asfalto, VFA	$VFA = \frac{VMA - \%vacíos}{VMA} \cdot 100$	<p>VFA = vacíos llenos con asfalto, (%)</p> <p>VMA = Vacíos en el agregado mineral del espécimen compactado.</p> <p>%vacíos = porcentaje de vacíos totales en el espécimen compactado.</p>
Relación polvo-asfalto	$P/A = \frac{\% pasandomalla\ de\ 0.075\ mm}{\% asfalto\ efectivo}$ $= \%asfaltototal - \frac{\% asfalto\ absorbido}{100} \cdot \%agregado$ $= 100 \cdot \left(\frac{G_{sea} - G_{bsa}}{G_{sea} \cdot G_{bsa}} \right) \cdot G_{bsasf}$ $G_{sea} = \frac{100 - \%asf_{PTM}}{\frac{100}{G_{mt}} - G_{bsasf}}$	<p>El porcentaje de material pasando la malla 0,075 mm en una combinación de agregados se determina como la suma de los productos entre los porcentajes de cada material y su respectivo porcentaje de polvo determinado mediante análisis granulométricos:</p> $\% pasandomalla\ \#200_{total} = \%200_1 P_1 + \%200_2 P_2 + \dots + \%200_n P_n$ <p>donde,</p> <p>P_n = porcentaje por peso de agregado.</p> <p>$\%200_n$ = % pasando malla No. 200 en cada agregado.</p> <p>G_{sea} = gravedad específica efectiva del agregado.</p> <p>$\%asf_{PTM}$ = porcentaje de asfalto por peso total de la mezcla.</p>

Sección 404.) DISEÑO DE MEZCLA SUPERPAVE®

404.01 Descripción

Esta sección cubre los trabajos a realizar con mezcla asfáltica producida en la planta de producción procesada en caliente utilizando agregados de granulometría densa y asfalto para capas de rodadura y capa de base.

El diseño de mezcla Superpave® es un sistema que consiste en la escogencia de los agregados y el asfalto de acuerdo con el volumen de tránsito y clima, una vez hecho esto se procede a escoger una granulometría óptima de diseño a partir de mínimo tres gradaciones de prueba y finalmente se escoge el

contenido de asfalto óptimo con el cual se hace la comprobación para la susceptibilidad del daño por humedad en resistencia retenida a la tensión diametral.

Además, de los requisitos expuestos en esta sección se deben cumplir las especificaciones de desempeño de la mezcla asfáltica definidas en la sección 406.

404.02 Materiales

Los materiales a utilizar en la producción de mezclas asfálticas son: agregados gruesos y finos, relleno mineral, asfalto y aditivos. Cada uno debe cumplir con los requisitos de la Sección 402 además de las siguientes propiedades.

1. Agregados

Tabla 404-1. Requisitos Superpave® para el agregado grueso (Varias fuentes, FP-03, SP-2S)

Propiedad	Norma de ensayo	Especificación
Abrasión en la máquina de Los Ángeles	AASHTO T 96	Pérdida máxima de 35 %
Disgregabilidad en sulfato de sodio, 5 ciclos	AASHTO T 104	Pérdida máxima de 12 % ¹
Partículas friables y arcillosas	AASHTO T 112	Máximo 1,0 %
Índice de durabilidad	AASHTO T 210	Mínimo 35 %
Partículas planas y elongadas, relación 5:1	ASTM D 4791 sección 8.4	Máximo 10 %
Angularidad o caras fracturadas	ASTM D 5821	Tabla 404-2
Pulimento acelerado	UNE EN 1097-8	Tabla 406-3

1. Este criterio no aplica para granulometrías con TMN de 4,75 mm.

Tabla 404-2. Caras fracturadas en el agregado grueso (Tabla 5, AASHTO M 323, 2012)

ESAL's diseño (millones) (20 años carril de diseño)	Porcentajes mínimos de caras fracturadas (1cara / 2caras o más)	
	Espesor de la capa	
	≤ 100 mm	>100 mm
< 0,3	55/-	-/-
0,3 a 3	75/-	50/-
3 a 10	85/80	60/-
10 a 30	95/90	80/75
>30	100/100	100/100

Nota: "85/80" significa que como mínimo el 85 % del agregado grueso tiene una sola cara fracturada y 80% tiene dos caras fracturadas

Tabla 404-3. Requisitos Superpave® para el agregado fino (SP-2S)

Propiedad	Norma de ensayo	Especificación
Partículas friables y arcillosas	AASHTO T 112	Máximo 1,0 %
Angularidad o caras fracturadas	AASHTO T 304	Tabla 404-4
Equivalente de arena	AASHTO T 176	Tabla 404-4

Tabla 404-4. Requisitos para el agregado fino (Tabla 5, AASHTO M 323, 2012).

ESAL's diseño (millones) (20 años carril de diseño)	Porcentaje mínimo del contenido de vacíos en el fino no compactado		Porcentaje mínimo de equivalente de arena
	Espesor de la capa		
	≤ 100 mm	>100 mm	
< 0,3	-	-	40
0,3 a 3	40	40	40
3 a 10	45	40	45
10 a 30	45	40	45
>30	45	45	50

2. Asfalto

Para el diseño de mezcla Superpave el asfalto se debe escoger basado en el clima, volumen de tránsito y velocidad de circulación esperados en el proyecto. Utilizar la Tabla 406-1 para la escogencia del tipo de asfalto a utilizar. En los anexos de la sección 404 se detalla el procedimiento para calcular la Temperatura alta del Grado de Desempeño del asfalto para el proyecto en específico.

404.03 Granulometrías Superpave®:

El agregado grueso y fino, el relleno mineral y el material de reciclado (RAP) se deben combinar de tal manera que produzcan una fórmula de trabajo aceptable dentro de los límites de graduación determinados por los puntos de control máximos y mínimos como se muestra en la siguiente Tabla 404-6. En la Figura 404-1 se presenta de manera gráfica las granulometrías, en el eje y debe representar el porcentaje de material pasando y en el eje x debe incluir el tamaño del tamiz en mm elevados a la potencia 0,45. Adicionalmente debe representar los puntos de control y el punto PCS junto con la línea de máxima densidad. Cada tamaño máximo nominal tiene sus puntos de control dentro de la granulometría y el punto PCS, este indica si la granulometría es densa gruesa cuando pasa por debajo o densa fina si pasa por encima. El tamaño máximo nominal (TMN) se define como el tamiz que es un tamaño superior al primer tamiz que retiene más del 10 % del agregado. El tamaño máximo es un tamiz superior al tamaño máximo nominal. Esta definición aplica solo para mezclas Superpave® pues difiere de otras definiciones para agregados.

Las desviaciones permisibles se presentan en la Tabla 404-5.

Tabla 404-5. Desviaciones permisibles (Tabla 9, Texas DOT, 2004)

Descripción	Método de ensayo	Desviación permisible
% retenido individual de los tamices gruesos a partir del tamiz de 2,36 mm (N° 8)	AASHTO T 308 AASHTO T 30	± 5,0 ¹
% retenido individual de los tamices más pequeños que el tamiz de 2,36 mm (N° 8) y más grandes que el tamiz de 0,075 mm (N° 200)	AASHTO T 308 AASHTO T 30	± 3,0 ²
% pasando el tamiz de 0,075 mm (N° 200)	AASHTO T 308 AASHTO T 30	± 1,6 ³

1. Se permite que la granulometría quede fuera de los límites establecidos por los puntos de control mientras se mantenga esta tolerancia.
2. Se permite que la granulometría quede fuera de límites establecidos por los puntos de control mientras se mantenga esta tolerancia.
3. No se permite que esta diferencia en el tamiz de 0,075 (N° 200) sobrepase los límites de variación del tamiz establecido con los puntos de control.