



Instituto
Mexicano del
Transporte

COORDINACIÓN DE INFRAESTRUCTURA

INFORME DE INVESTIGACIÓN

PROYECTO No. IE-08/15:

REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE TÉRMINOS DE REFERENCIA DE PROYECTOS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS

Responsable del proyecto:

Dr. Horacio Delgado Alamilla

Líder del área de Mecánica de Asfaltos y Mezclas Asfálticas

Aprobó:

M.C. Rodolfo Téllez Gutiérrez
Coordinador de Infraestructura

Autorizó:

M. C. y M. A. José San Martín Romero
Director General

22 de enero de 2016

Este proyecto fue realizado en la División de Laboratorios de Infraestructura por el investigador, Dr. Horacio Delgado Alamilla, con la colaboración de la M. I. Yelitza Ayala del Toro.

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
1. OBJETIVOS.....	5
2. ALCANCE.....	5
3. REVISIÓN DE LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA.....	6
4. PROPUESTA DE DISEÑO DEL PAVIMENTO EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE TRÁNSITO ..	6
5. PROPUESTA DEL DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE TRÁNSITO.....	7
ANEXO 1: TRÁNSITO BAJO.....	8
ANEXO 2: TRÁNSITO MEDIO.....	25
ANEXO 3: TRÁNSITO ALTO.....	44

RESUMEN

El presente informe presenta una propuesta para el diseño y control de calidad de mezclas asfálticas basada en parámetros de tránsito, la cual surge en respuesta a la solicitud realizada por el Mtro. Oscar Callejo Silva Director General de Carreteras de la SCT (Oficio No. 3.1.1 0232).

La propuesta de diseño considera tres niveles de tránsito los cuales van de tránsito bajo (de 1×10^6 a 10×10^6 ESAL's), tránsito intermedio (10×10^6 y 30×10^6 ESAL's), y tránsito alto ($>30 \times 10^6$ ESAL's). El primer nivel considera la utilización de un diseño de mezcla asfáltica convencional, para el tránsito intermedio se considera la utilización de un diseño basado en el desempeño, el cual incluya la verificación de la susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente. El último nivel considera tanto la utilización de un diseño basado en el desempeño, pero además involucra ensayos de propiedades mecánicas avanzadas como es el módulo dinámico y fatiga.

La propuesta de control de calidad se ajusta a cada uno de los niveles de tránsito propuestos en el diseño, definiendo frecuencias de muestreo, número y tipos de ensayos a realizar para cada una de las etapas del proceso constructivo de la carpeta asfáltica. En esta propuesta se agregan dos puntos importantes como son la utilización de pruebas no destructivas para el control de la densidad del pavimento y la correcta evaluación del tramo de prueba.

El último anexo presenta un reporte de cómo se deben entregar los datos del diseño de la mezcla asfáltica, lo cual incluye el resumen del diseño y el registro de realización de los ensayos y una breve descripción de los mismos. Este último se presenta como un documento adicional al presente informe.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto surge en respuesta a la solicitud realizada por el Mtro. Oscar Callejo Silva Director General de Carreteras de la SCT (Oficio No. 3.1.1 0232) para la realización de ensayos de laboratorio de módulo de diferentes obras con la finalidad de dar cumplimiento al programa nacional de infraestructura, en construcción y modernización de carreteras federales.

Derivando en diversas reuniones entre el personal de la Dirección General de Carreteras y el personal del IMT, en las cuales se fijaron los lineamientos para definir los términos de referencia para el diseño de mezclas asfálticas basadas en el nivel de tránsito al cual va estar sometido el pavimento.

1. OBJETIVOS

- La revisión y actualización de los términos de referencia para elaborar estudios y proyectos de carretera nueva de la dirección general de carreteras.
- Capacitación de personal de la Dirección General de Carreteras de la SCT.

2. ALCANCE

Los alcances del proyecto serán definidos de acuerdo a cada uno de los objetivos establecidos

Realizar el análisis de los términos de referencia para elaborar estudios y proyectos de carretera nueva de 2014 y 2015 y realizar una actualización del documento en acuerdo con la Dirección general de Carreteras.

1. Se definirán los formatos de entrega de resultados, los cuales abarcarán los ensayos definidos en los términos de referencia, así como la secuencia de realización de los mismos.
2. Se presentará una guía para el diseño y control de calidad de mezclas asfálticas basadas en el nivel de tránsito de la carretera.
3. Se realizarán capacitaciones en cuanto a los términos de referencia y el control de calidad de mezclas asfálticas de alto desempeño.

3. REVISIÓN DE LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA

Como inicio del proyecto se analizaron 4 diferentes documento los cuales fueron utilizados en términos de referencia en 2014 y 2015. Del análisis de estos documentos se pudo observar lo siguiente:

- No existe un procedimiento para la evaluación del proyecto, el cual defina los lineamientos para la selección de la estructura más adecuada para la obra (pavimento asfáltico o de concreto, selección de productos que mejoran el desempeño de bases hidráulicas, o la superficie de rodamiento).
- Se utilizan métodos de diseño de espesores antiguos, lo cuales no consideran ensayos de desempeño utilizados actualmente en México,
- No se define una metodología para el diseño de la mezcla asfáltica o del concreto hidráulico, por lo cual no se sabe cuáles son los ensayos que se deben de realizar ni los valores mínimos de diseño.
- No están definidos los formatos para la entrega de los resultados de ensayos realizados durante el diseño de pavimento.

4. PROPUESTA DE DISEÑO DEL PAVIMENTO EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE TRÁNSITO

La propuesta presentada solo abarca el diseño de pavimentos asfálticos, en un segundo proyecto se tratará el diseño de pavimentos de concreto y bases tratadas.

Con respecto a los métodos de diseño estructural se observó la necesidad de adicionar una metodología adicional a las tradicionalmente utilizadas (Dispav V3 o AASHTO 93). Esta metodología debe considerar la realización de ensayos de desempeño (módulo y fatiga) de las diferentes capas de la estructura, tomando en consideración los diferentes ensayos que se realizan en México.

Este punto es de vital importancia, ya que no podemos adoptar metodologías de otros países sin tener los elementos de implantación en México, como ejemplo esta la metodología Francesa aun y cuando es una metodología validada, utiliza un ensayo de tipo trapezoidal para la determinación de los valores de módulo y fatiga de la mezcla asfáltica, el cual nadie realiza en México. Esta selección obligaría a los laboratorios a adquirir nuevos equipos de evaluación y pasar

nuevamente por una curva de aprendizaje en la realización de estos ensayos, teniendo en cuenta que ya se tiene un trabajo de más de 5 años en la implantación de ensayos similares.

Por lo cual se recomienda incluir el IMTPAVE versión 3.0 como parte de las metodologías de diseño de estructuras de pavimento. Esto es debido a que esta metodología considera la utilización de ensayos de módulo tanto en la base hidráulica y en la carpeta asfáltica, así como el análisis del tránsito mediante espectros de carga.

5. PROPUESTA DEL DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FUNCIÓN DEL NIVEL DE TRÁNSITO

La propuesta está dividida en 4 documentos generales, los cuales se describen a continuación:

ANEXO 1: Diseño y control de mezcla asfáltica con tránsito bajo.

Este documento considera la utilización de un diseño de mezcla asfáltica convencional (Metodología Marshall), para un nivel de tránsito es de 1×10^6 a 10×10^6 ESAL's.

ANEXO 2: Diseño y control de mezcla asfáltica con tránsito medio

Este documento considera la utilización de un diseño basado en el desempeño, el cual incluya la verificación de la susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente, considerando un rango de nivel de tránsito entre 10×10^6 y 30×10^6 ESAL's.

ANEXO 3: Diseño y control de mezcla asfáltica con tránsito alto

Este documento considera la utilización de un diseño basado en el desempeño, incluyendo ensayos de caracterización avanzados como es el módulo dinámico y fatiga, considerando un rango de nivel de tránsito mayor a 30×10^6 ESAL's.

ANEXO 4: Formatos de entrega de resultados.

Se presenta un resumen del diseño de una mezcla asfáltica, la cual contempla todos los resultados que debe entregar una empresa que realiza un diseño de mezcla asfáltica, incluyendo cada uno de los formatos necesarios para respaldar el informe de diseño. La finalidad de este documento es tener una guía de la información mínima que debe de recibir la dependencia cuando solicita un diseño de una mezcla asfáltica. Este se presenta como un documento adicional al presente informe.

ANEXO 1: TRÁNSITO BAJO

A. CONTENIDO

Este documento describe los requisitos y las características de calidad para el diseño de un pavimento flexible con una mezcla asfáltica de granulometría densa diseñadas en base a su desempeño y nivel de tránsito (número de ejes equivalentes: ESAL's).

El diseño del pavimento asfáltico dependerá del nivel de tránsito que circulará en el camino. El presente documento está referenciado a un nivel de tránsito bajo:

- **Tránsito Bajo: ESAL's de 1×10^6 a 10×10^6**

A partir de la selección del nivel de tránsito de diseño se determinarán los requerimientos de diseño y de calidad de la mezcla asfáltica. Para este tipo de tránsito, la mezcla asfáltica será fabricada con una granulometría densa o tipo SMA, con un TN de 19mm (3/4").

B. DEFINICIÓN

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla asfáltica compuesta por materiales pétreos, material asfáltico, filler y en algunos casos aditivos.

La carpeta asfáltica tendrá un espesor adecuado para desempeñar la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

La mezcla asfáltica diseñada por niveles de ejes equivalentes y en base a su desempeño, es una mezcla especialmente diseñada y construida para resistir deformaciones permanentes, fatiga y tener mayor resistencia a los agentes ambientales.

C. DISEÑO DE PAVIMENTO

Con base en la revisión y autorización del estudio de tránsito presentado por "EL CONTRATISTA", a la sección o secciones tipo de la carretera y el estudio geotécnico definitivo, "EL CONTRATISTA" elaborará el diseño de pavimento considerando:

- El método del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- El método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- El método del Instituto Mexicano del Transporte, IMTPAVE versión 3.0.
- Por otro método que elija “EL CONTRATISTA”.

D. CARPETA ASFÁLTICA

Los criterios de desempeño de la mezcla asfáltica para pavimento flexible estarán basados de acuerdo al nivel de tránsito definido en el inciso A. Para la selección de la muestra se considerarán tres aspectos: calidad de los materiales, diseño volumétrico de la mezcla asfáltica, y ensayos de desempeño.

D.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES

Cuando el material pétreo para estas mezclas pertenezca a más de un solo banco de materiales, se deberá hacer un mezclado homogéneo de los materiales de los diferentes bancos y su utilización para la mezcla asfáltica tendrá que ser aprobada por la Dependencia. Todas las pruebas necesarias para definir la calidad serán desarrolladas por un laboratorio con reconocimiento AMAAC-IMT.

D.1.1 Agregado grueso

El agregado grueso (material pétreo retenido en la malla No. 4) será de un banco aprobado por la Dependencia, triturado totalmente a un tamaño nominal de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ”), debiendo cumplir éste con las especificaciones que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de calidad del agregado grueso

Característica	Norma	Especificación
Desgaste Los Ángeles, %	ASTM C131	30 máx.
Desgaste Microdeval, %	ASTM D6928	18 máx.
Intemperismo acelerado, %	ASTM C88	15 máx. (sulfato de sodio) 20 máx. (sulfato de magnesio)
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	ASTM D 5821	90 mín.
Partículas planas y alargadas, %	ASTM D 4791	5 a 1 %, 10 máx. ⁽¹⁾
Densidad del agregado grueso	ASTM C 127	≥ 2.4
Absorción del agregado grueso, %	ASTM C 127	Reportar
Adherencia con el asfalto, % de cubrimiento	Recomendación AMAAC RA-08	90 mín.

⁽¹⁾Suma de %planas + %alargadas

D.1.2 Agregado fino

El agregado fino (material que pasa la malla No. 4) Será de un banco aprobado por la dependencia para cumplir con las especificaciones marcadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de calidad del agregado fino

Característica	Norma	Especificación
Equivalente de arena,%	ASTM D 2419	50 mín.
Angularidad, %	AASHTO T 304	40 mín.
Azul de metileno, mg/g	Recomendación AMAAC RA-05	15 máx.
Densidad del agregado fino	ASTM C 128	≥ 2.4
Absorción del agregado fino	ASTM C 128	Reportar

D.1.3 Relleno mineral de aporte (filler)

Se define como filler de aporte a la fracción de material que pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm) y que se incorpora a la mezcla de manera complementaria, normalmente con el fin de cumplir con los requisitos granulométricos establecidos. El filler de aporte suele ser ceniza volante o material proveniente de la trituración de agregado fino. Este material se caracteriza por estar libre de

aglomeraciones cuando se encuentra seco, además de estar libre de impurezas orgánicas y tener un índice de plasticidad no mayor a 4, así como un valor de azul de metileno no mayor a 15.

D.1.4 Material asfáltico

El cemento asfáltico que se utilice en la mezcla deberá ser caracterizado por Grado PG y cumplir la Norma SCT de asfaltos PG N·CMT·4·05·004 “Calidad de materiales asfálticos grado PG”. La caracterización se realizará de acuerdo a la Tabla 4.

De acuerdo a la selección del asfalto por Grado PG en base a la ubicación geográfica y tránsito, para este caso (tránsito bajo), no se considerará el incremento de un Grado PG según lo descrito en la misma Norma SCT de asfaltos PG N·CMT·4·05·004 (Tabla 1 de dicho documento).

En caso en que el proyecto se encuentre en una zona que requiera asfaltos con Grado PG 70-16 o superior, los cuales necesiten se logren mediante la adición de un modificador, se deberán realizar adicionalmente los ensayos descritos en la Tabla 3.

Tabla 3. Características de calidad del material asfáltico (ensayos adicionales)

Grado de Desempeño		64				70				76				82			
		-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34
Temperatura máxima de diseño del pavimento, °C		64				70				76				82			
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C		>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34
Característica	Norma	Asfalto Original															
Punto de reblandecimiento ¹ , °C, mínimo	M-MMP-4-05-009	48								55							
Recuperación elástica por torsión ¹ @ 25°C, %, mínimo	M-MMP-4-05-024	N/A								30							
Separación de polímero en anillo-esfera ¹ , °C, máximo	M-MMP-4-05-022	N/A								2							
Después de envejecimiento en Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO) - (ASTM D 2872)																	
Ductilidad ¹ @ 25 °C y 5 cm/min; cm, mínimo	ASTM D113	50								N/A							
Recuperación elástica en ductilómetro ¹ @ 25 °C, %, mínimo	ASTM D6084	N/A								60							
1. Pruebas para determinar en el laboratorio de control de calidad de campo.																	
2. Pruebas a determinar en el laboratorio central. Considerar 5 días laborables para la entrega de resultados.																	

Tabla 4. Características de calidad del material asfáltico (Grado PG)

Grado de Desempeño		64				70				76				82			
		-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34
Temperatura máxima de diseño del pavimento, °C		64				70				76				82			
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C		>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34
Característica	Norma	Asfalto Original															
Punto de inflamación Cleveland ¹ , °C, mín.	ASTM D92	230															
Viscosidad rotacional ¹ @ 135 °C, Pa·s, máx.	ASTM D4402	3															
Corte dinámico ² Geometría: 25 mm, Separación: 1 mm.	G*/sinδ, kPa, mín.	1															
	Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64				70				76				82			
Después de envejecimiento en Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO) ² - (ASTM D 2872)																	
Cambio de masa ¹ , %, máx.	ASTM D2872	1															
Corte dinámico ² Geometría: 25 mm, Separación: 1 mm.	G*/sinδ, kPa, mín.	2.2															
	Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64				70				76				82			
Después de envejecimiento en Vasija de Presión y Temperatura (PAV) - (ASTM D 6521)																	
Temperatura de envejecimiento de PAV ² , °C	Climas normales	100															
	Climas desérticos	100				110											
Corte dinámico ² Geometría: 8 mm, Separación: 2 mm.	G*(sinδ), kPa, máx.	5000															
	Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	28	25	22	19	31	28	25	22	34	31	28	25	37	34	31	28
Rigidez a flexión ² @ 60 s	Rigidez "S", MPa, máx.	300															
	Pendiente "m", mín.	0.3															
	Temperatura de prueba, °C	-6	-12	-18	-24	-6	-12	-18	-24	-6	-12	-18	-24	-6	-12	-18	-24
Nota: Para otros rangos de temperaturas, referirse a la norma ASTM D6373.																	
1. Pruebas a realizar en el laboratorio de control de calidad de campo.																	
2. Pruebas a realizar en el laboratorio central. Considerar 7 días laborales para la entrega de resultados.																	

El licitante presentará en su propuesta técnica: carta compromiso del proveedor de material asfáltico, en donde se comprometa a elaborar un producto que cumpla con la Norma SCT de asfaltos PG, N·CMT·4·05·004 "Calidad de materiales asfálticos Grado PG".

Los ensayos deberán ser realizados por un laboratorio con reconocimiento AMAAC-IMT en la categoría completa de asfaltos.

D.2 DISEÑO VOLUMÉTRICO DE LA MEZCLA

El diseño de la mezcla se realizará por un diseñador con reconocimiento AMAAC-IMT y por un laboratorio aprobado por la dependencia, considerando como mínimo las propiedades volumétricas, la evaluación de la susceptibilidad a la humedad y la evaluación de la susceptibilidad a la deformación permanente. Las temperaturas de mezclado y compactación serán las recomendadas por el proveedor del producto asfáltico.

La granulometría de la mezcla asfáltica se apegará a la mencionada en la Tabla 5, en el eje horizontal se graficará la abertura de la malla en mm elevada a la 0.45 y en el eje vertical el por ciento que pasa, alojándose dentro de los puntos de control. La línea de Máxima densidad es una línea recta que se traza del tamaño máximo del agregado, del 100% de material que pasa al origen (Figura 1).

1. **Tamaño Máximo:** Un tamaño mayor que el tamaño nominal.
2. **Tamaño Nominal:** Un tamaño mayor que la primera malla o tamiz que retiene más del 10% de agregado.

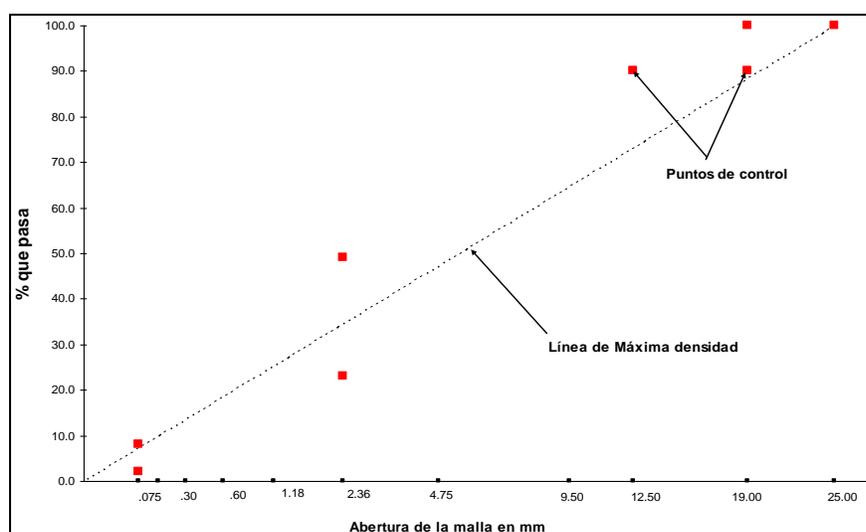


Figura 1. Límites granulométricos para tamaño nominal 19 mm (3/4")

Tabla 5. Puntos de control en la granulometría para tamaño nominal de 3/4" y 1/2"

Abertura de la malla (mm)	Tamaño nominal del material pétreo	
	19mm (3/4")	12,5mm (1/2")
25.00	100 – 100	
19.00	90 – 100	100 – 100
12.50	– 90	90 – 100
9.50		– 90
4.75		
2.36	23 – 49	28 – 58
0.075	2 - 8	2 - 10

Nivel de Tránsito Bajo:

La mezcla asfáltica puede ser diseñada tomando como base el Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013 para un tránsito Nivel I ($ESAL's \leq 1 \times 10^6$).

Protocolo AMAAC:

Fabricación de los especímenes mediante el Compactador Giratorio de acuerdo al número de giros especificados en la Tabla 3.

Tabla 3. Energía de compactación en el Compactador Giratorio

Parámetros de Compactación		
N _{ini}	N _{dis}	N _{máx}
7	75	115

La selección del contenido de material asfáltico estará en función del cumplimiento de las propiedades volumétricas indicadas en la Tabla 4.

Tabla 4. Requerimientos volumétricos

Densidad requerida (% de la gravedad específica teórica máxima - Gmm)			Vacíos de agregado mineral mínimo en %		Vacíos llenos de asfalto, %	Relación filler asfalto
Nivel de Compactación giratoria			TN 19mm	TN 12.5mm		
N _{ini}	N _{dis}	N _{máx}				
≤ 90.5	96	≤ 98	13	14	65 - 78	0.6 - 1.2

E. CONTROL DE CALIDAD

Previo a la producción de la mezcla asfáltica y arranque de la obra, se deberá: (1) verificar la calidad de los materiales a utilizar, (2) realizar la calibración de la planta de mezcla asfáltica, y (3) evaluar el equipo y procedimiento de construcción de la carpeta asfáltica en caliente. Es importante que esta etapa sea realizada antes del arranque de obra.

Nota: Todos los resultados de ensayos a reportar, indicados de las secciones E.1 a E.3, se deberán realizar por duplicado para verificar la repetibilidad del ensayo, y se reportará como resultado de una prueba el promedio de dos resultados individuales.

E.1 EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales a utilizar en la producción de la mezcla asfáltica deberán ser los mismos con los que se realizó el diseño de la mezcla. Si existiera un cambio en la fuente del agregado pétreo o en el material asfáltico, el Contratante deberá aprobar dicho cambio y se verificará el diseño de la mezcla en un laboratorio autorizado y reconocido previamente por el mismo.

E.1.1 Material pétreo en banco

Previo a trasladar el material pétreo a la planta de mezcla asfáltica, se deberán verificar las características de calidad para finos y gruesos indicados en las Tabla 5; así como la granulometría de las fracciones definidas en el diseño, utilizando los tamaños de malla especificadas en la Tabla 5, con el objetivo de verificar que el procedimiento de trituración no ha variado desde el diseño de la mezcla.

Tabla 5. Características de calidad en banco de materiales

Ensayo	Norma	Especificación
Caras fracturadas ¹ , % (2 o más)	ASTM D5821	90 mín.
Partículas planas y alargadas ¹ , %	ASTM D4791	Relación 5 a 1: 10 máx.
Equivalente de arena ¹ , %	ASTM D2419	50 mín.
Angularidad ¹ , %	ASTM C1252	40 mín.
1. Pruebas a realizar en el laboratorio de control de calidad de campo. Considerar 2 días laborales para la entrega de resultados.		

Una vez verificadas las características de la Tabla 5, se deberá trasladar el material pétreo a la planta de mezcla en caliente. El material pétreo se muestreará directamente de los

almacenamientos de la planta. Se muestreará cada fracción del agregado a utilizar en la elaboración de la mezcla de acuerdo a la norma ASTM D75 “*Práctica estándar para muestreo de agregados*”.

El laboratorio de control de calidad del Contratista determinará en campo la granulometría de cada fracción de material pétreo de acuerdo a la norma ASTM C136 “*Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos*”, utilizando los tamaños de malla especificadas en la Tabla 5 y las características físicas para agregado pétreo especificadas en la Tabla 1 y la Tabla 2, bajo los métodos de prueba especificados en las mismas. Se reportarán los valores obtenidos como parámetros de control de calidad de los materiales pétreos previo al arranque de obra.

E.1.2 Evaluación del material asfáltico en planta

Se tomará una muestra del material asfáltico —a utilizar en la producción de la mezcla asfáltica— del auto-tanque, de acuerdo a la norma ASTM D140 “*Práctica estándar para muestreo de materiales asfálticos*”. Se analizará la calidad del mismo de acuerdo a la clasificación por grado de desempeño (Grado PG) en base a los ensayos y especificaciones indicados en la Tabla 3 y la Tabla 4. Se reportarán los valores obtenidos como parámetros de control de calidad del material asfáltico previo al arranque de la obra.

E.2 CALIBRACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

E.2.1 Calibración de la granulometría de diseño

En cuanto los materiales de construcción estén disponibles, el Contratista calibrará la planta de mezcla en caliente en seco (sin uso de material asfáltico) con el objetivo de reproducir la estructura granulométrica del diseño de la mezcla. Para lo cual, el Contratista:

E.2.1.1 Tomará una muestra de la combinación de materiales pétreos de la banda transportadora, en la planta de mezcla en caliente de acuerdo al método ASTM D75 “*Práctica estándar para muestreo de agregados*”, fracción 5.3.2 “*Muestreo en la banda transportadora*”.

E.2.1.2 A las muestras tomadas de la banda transportadora se les determinará la granulometría de la combinación de materiales pétreos de acuerdo a la norma ASTM C136 “Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos”, utilizando las mallas especificadas en la Tabla 5.

E.2.1.3 Se realizarán los ajustes pertinentes en las dosificaciones de cada fracción del material pétreo para reproducir la curva granulométrica de diseño dentro de las tolerancias especificadas para granulometría en la Tabla 6 y dentro de los puntos de control especificados en la Tabla 5.

Tabla 6. Tolerancias en los requisitos de la mezcla asfáltica

Propiedad de composición de la mezcla	Método de extracción ¹ (Rotarex)	Método de ignición ²
	ASTM D2172	ASTM D6307
Contenido de asfalto, %	± 0,3	± 0,18
Material que pasa por las mallas superiores a la No. 4 (4,75mm) ¹	± 3	
Material que pasa por las mallas comprendidas entre la No. 8 (2,36mm) y la No. 100 (0,15mm) ¹	± 2	
Material que pasa la malla No. 200 (0,075mm) ¹	± 0,7	
Gravedad específica teórica de la mezcla compactada (G_{mm}) ¹	Reportar	
1. Pruebas para determinar en el laboratorio de control de calidad de campo. 2. Pruebas a determinar en el laboratorio central. Considerar 10 días laborales para la entrega de resultados.		

E.2.2 Evaluación de la mezcla asfáltica

En cuanto la calibración de la combinación de materiales pétreos sea realizada (en seco), el Contratista deberá calibrar la planta de mezcla en caliente y apegándose a la fórmula de trabajo definida en el diseño de la mezcla en lo que se refiere a: estructura granulométrica de la combinación de materiales, contenido de material asfáltico, cantidad de filler o fibra en caso de requerirse, y temperaturas de mezclado. El Contratista producirá al menos 50 toneladas de mezcla asegurando una producción uniforme. Se tomarán al menos dos muestras de mezcla asfáltica durante la producción: a la salida del mezclador y caída al transportador de acuerdo al

método ASTM D979 “Práctica estándar para muestreo de mezclas asfálticas” con una cantidad aproximada por muestra de 10 kg.

Esta mezcla cumplirá con la granulometría y contenido de asfalto con una tolerancia indicada en la Tabla 6 y dentro de los puntos de control especificados en la Tabla 5. Adicionalmente, se deberá obtener el valor de G_{mm} de la mezcla asfáltica. La elaboración de la mezcla se realizará de acuerdo a las temperaturas de mezclado recomendadas por el proveedor del material asfáltico.

Si el contenido de asfalto y granulometría no cumplen con las tolerancias especificadas en la Tabla 6, se verificarán las propiedades volumétricas especificadas en la Tabla 4 para la mezcla producida en planta y compactada en el laboratorio central al número de giros especificados en la Tabla 3. En caso de no cumplir con las tolerancias requeridas, se realizarán los ajustes necesarios en la producción. El Contratista reportará estos valores al Contratante, junto con las acciones tomadas para corregir las desviaciones mayores a las permitidas con respecto a la mezcla de diseño.

E.3 CALIBRACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO (TRAMO DE PRUEBA)

Una vez concluido el proceso de calibración de la planta de mezcla en caliente, el Contratista producirá la mezcla asfáltica necesaria para realizar el tramo de prueba de 200 metros de longitud por un ancho de 7 metros, al espesor requerido en el proyecto; asegurando una producción uniforme dentro de las tolerancias mostradas en la Tabla 6.

E.3.1 Evaluación de la mezcla asfáltica

El Contratista realizará el muestreo de acuerdo a un procedimiento de números aleatorios. Se considerará el tramo de prueba como un solo lote y éste se dividirá en 3 sub-lotes. Cada muestra a tomar por sub-lote será de 20 kg. Se evaluará la mezcla asfáltica de acuerdo a las características establecidas en la Tabla 7. Se tomará la temperatura de la mezcla asfáltica en cada muestreo y se registrará como la temperatura de mezclado.

El Contratista deberá muestrear de acuerdo a la norma ASTM D979 “*Práctica estándar para muestreo de mezclas asfálticas*” a la salida del mezclador y caída al transportador. Si se requiere,

el Contratista ajustará la producción de la mezcla en caliente para cumplir los rangos de tolerancia. Si los valores obtenidos en las pruebas de granulometría y contenido de asfalto de la Tabla 7, no cumplen con las tolerancias establecidas en la Tabla 6, se deberá regresar al proceso de calibración de planta E.2.2.

Tabla 7. Características requeridas en la evaluación de la mezcla asfáltica en el tramo de prueba

Lote	Sub-lotes	Características requeridas por Sub-lote
1	3	<ul style="list-style-type: none"> - Gravedad específica teórica máxima (G_{mm}) de la mezcla determinada en el laboratorio de campo y en el laboratorio central (ASTM D2041). - Contenido de asfalto de la mezcla asfáltica (ASTM D2172 o ASTM D6307). - Granulometría del material tomado de la banda (ASTM C136).

E.3.2 Evaluación del tramo de prueba

El lote de mezcla producida para el tramo de prueba, será colocado en el espesor requerido en el proyecto.

Nota: Si después de los ajustes mencionados en la fracción E.2.2, la mezcla producida no cumple lo solicitado, el Contratista valorará el riesgo de aplicar una mezcla que pudiese llegar a presentar problemas de desempeño.

El patrón de compactación se definirá de acuerdo a aquel con el que se cumpla un 94 – 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}), determinada en el campo para la mezcla producida y tendida en el tramo de prueba, mediante el método ASTM D2041 “Método de prueba estándar para determinar la gravedad específica teórica máxima y densidad de una mezcla asfáltica”. Se realizarán mediciones de densificación, utilizando un densímetro nuclear o electromagnético (ensayo no destructivo), a cada 25m y en cinco posiciones transversales al eje.

Para los ensayos destructivos, se realizarán extracciones (núcleos) en campo de acuerdo a la norma ASTM D5361 “Práctica estándar para el muestreo de mezcla asfáltica compactada para evaluación en laboratorio”. El muestreo se realizará utilizando un procedimiento de números

aleatorios. Se considerará un solo lote para todo el tramo de prueba y dos sub-lotes; por consiguiente cada sub-lote tendrá un tamaño de 100 m. El número de extracciones y ensayos a realizar por sub-lote se indican en la Tabla 8. Previo a la extracción de cada núcleo, se deberán tomar mediciones de la densidad utilizando el densímetro nuclear o electromagnético para la calibración del mismo.

Tabla 8. Ensayos para extracciones en tramo de prueba por sub-lote.

Extracciones	Características requeridas por extracción
4 núcleos de 10.1 cm (4 pulgadas)	<ul style="list-style-type: none"> - Gravedad específica bruta (G_{mb}). - Vacíos de aire (V_a). - Contenido de asfalto. - Granulometría - Estabilidad y Flujo Marshall

Los núcleos extraídos de campo con el porcentaje de compactación de 94 – 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}). Para el cálculo de los vacíos de aire y el porcentaje de gravedad específica teórica máxima (G_{mm}) utilizar el valor determinado en el laboratorio central de la evaluación de la mezcla asfáltica establecida en la fracción E.3.1 de este documento. En caso de que el tramo de prueba construido no cumpla con todos los objetivos definidos, el Contratista ejecutará los tramos de prueba necesarios hasta cumplir con ellos.

E.3.3 Aceptación o rechazo del tramo de prueba

Si la mezcla no cumple con las tolerancias de la fórmula de trabajo requeridas en la Tabla 6, entonces el Contratante podrá aprobar el inicio de la obra con los ajustes a la mezcla asfáltica hechos en campo con respecto al diseño original, sólo si la combinación de materiales pétreos cumplen con los requisitos de calidad establecidos en la Tabla 1 y la Tabla 2, el material asfáltico cumple con la calidad establecida en la Tabla 3 y la Tabla 4, la mezcla asfáltica cumple con los requerimientos volumétricos especificados en la Tabla 4, y el porcentaje de compactación se encuentra en un rango de 94 – 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}).

Si a juicio del Contratante es necesario retirar el/los tramos de prueba defectuosos que no cumplan con los requerimientos establecidos, el Contratista los retirará y reemplazará, corriendo a cargo del Contratista los costos involucrados, hasta alcanzar los requerimientos marcados en la especificación particular.

E.4 CONTROL DE CALIDAD RUTINARIO

El control de calidad rutinario incluye la frecuencia de pruebas para: (a) mantener el proceso en control, (b) determinar rápidamente cuando el proceso esté fuera de control y (c) responder adecuadamente para controlar de nuevo el proceso. El control de calidad rutinario establece los requerimientos mínimos que el Contratista ejecutará durante el proyecto y comprende los siguientes puntos.

Nota: Todos los resultados de ensayos a reportar, indicados en esta sección, no se realizarán por duplicado.

E.4.1 Evaluación del material pétreo

Para verificar la uniformidad de la producción del material pétreo o bien realizar los ajustes pertinentes a la misma, se obtendrán muestras de acuerdo a la norma ASTM D75 “*Práctica estándar para muestreo de agregados*”, para cada fracción de material establecida. Se evaluará el agregado pétreo por cada 250 m³ de material extraído del banco. El tamaño de lote será de 250 m³ considerando un sub-lote para muestras de material pétreo tomado del banco.

Por otro lado, se evaluará el agregado en el almacenamiento de la planta de mezcla por cada 2,500 m³ utilizados en la fabricación de la muestra; considerando un lote de 2,500 m³ y un sub-lote por lote. Los ensayos a evaluar y frecuencia de los mismos se indican en la Tabla 9, siguiendo un procedimiento de muestreo de números aleatorios.

Si el proyecto requiere una cantidad inferior a 2,500 m³ de material pétreo, se considerarán dos sub-lotes para realizar la caracterización de la calidad de la fracción gruesa y fina del agregado total de acuerdo a la Tabla 1 y a la Tabla 2.

Tabla 9. Frecuencia de muestreo de materiales pétreos para el control rutinario

Lote	Sub-lote	Lugar de muestreo	Tamaño de muestras parciales (kg)	Pruebas requeridas
Una muestra por cada 250 m ³ de material pétreo extraído del banco que se destinará para el proyecto particular	1	Almacenamiento en banco de material	5	Granulometría Equivalente de arena Azul de metileno
Una muestra por cada 2500 m ³ de material	1	Almacenamiento en planta de mezcla	40	Ensayos de Tablas 3 y 4

E.4.2 Evaluación del material asfáltico

A la llegada de cada auto-tanque de material asfáltico a la planta, se tomará 1 muestra de asfalto de 2 litros de acuerdo a la norma ASTM D140 “*Práctica estándar para muestreo de materiales asfálticos*”. Esta muestra se utilizará para determinar las características especificadas en la Tabla 10. En caso de que el material asfáltico no cumpla con las especificaciones mínimas establecidas en la Tabla 10, éste deberá rechazarse y regresar al proveedor. El material restante deberá ser almacenado y debidamente etiquetado para posibles verificaciones posteriores.

Tabla 10. Características de calidad para el material asfáltico a la llegada de cada auto-tanque

Característica	Norma	Especificación
Punto de inflamación Cleveland ¹ , °C	ASTM D92	230 mín
Punto de reblandecimiento ¹ , °C	M-MMP-4-05-009	PG 64: 48 mín, PG 70 a 82: 55 mín
Recuperación elástica por torsión ¹ a 25 °C, %	M-MMP-4-05-024	PG 64: N/A PG 70 a 82: 30 mín
1. Pruebas a realizar en el laboratorio de control de calidad de campo		

Aunado a lo anterior, cada 110 m³ de material asfáltico a utilizar en la producción de la mezcla, se tomará una segunda muestra de asfalto de 2 litros. Dicha muestra se enviará al laboratorio central para determinar las características de calidad especificadas en la Tabla 3 y la Tabla 4. El material asfáltico deberá cumplir con el Grado PG especificado en el proyecto, y los parámetros iniciales obtenidos en la sección E.1.2.

E.4.3 Evaluación de la mezcla asfáltica

Se muestreará la mezcla asfáltica a la salida del mezclador y caída al transportador de acuerdo a la norma ASTM D979 “*Práctica estándar para muestreo de mezclas asfálticas*”. La frecuencia del muestreo se realizará considerando un tamaño de lote de 700 m³, independientemente de los días que tarde la planta en finiquitar dicho lote. El tamaño de sub-lote será de 175 m³ (4 sub-lotes / lote). El muestreo se realizará de acuerdo a un procedimiento aleatorio. Si el tamaño de la producción del día es menor a 175 m³, se deberá tomar una muestra al final del día. El Contratista deberá llevar un registro diario de los siguientes puntos: temperatura del material asfáltico, temperatura de mezclado, volumen (m³ o ton) de mezcla producida al día. La frecuencia, tamaño de muestra, número de muestras y las características a determinar se establecen en la Tabla 11.

Tabla 11. Frecuencia, número y tamaño de muestra de la mezcla asfáltica

Frecuencia	Características a determinar	Tamaño de muestra requerido	Sub-lotes
Cada lote	<ul style="list-style-type: none"> - Gravedad específica teórica máxima (G_{mm}) - Contenido de asfalto (CA) - Granulometría 	5 kg	4

E.4.4 Tendido y compactación

El Contratista llevará un registro diario de los siguientes puntos durante la producción de mezcla asfáltica: número de camiones de mezcla aplicados, volumen de mezcla (m³ o ton) por camión, temperatura de tendido, temperaturas de inicio y finalización de compactación. La mezcla tendida y compactada cumplirá con un rango de 94% - 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}).

La frecuencia, número de extracciones (núcleos) y métodos de ensayo a realizar en el tramo se especifica en la Tabla 12. El muestreo será determinado utilizando un procedimiento de muestreo de números aleatorios.

Si en el proyecto, la longitud de la vía es menor a las frecuencias establecidas en la Tabla 12, se determinarán al menos una vez cada una de las pruebas, excepto el porcentaje de gravedad

específica teórica máxima (G_{mm}), en cuyo caso sí se realizarán al menos 5 mediciones en sentido longitudinal.

Tabla 12. Frecuencia, características y número de mediciones requeridas para un tramo aplicado

Frecuencia	Características a determinar	Método / Tamaño de muestra	Sub-lotes
Cada 50m en 5 puntos transversales al eje	- Porcentaje de compactación respecto a gravedad específica teórica máxima (G_{mm})	No destructivo con densímetro electromagnético o nuclear	N/A
Cada dos kilómetros / carril	- Gravedad específica bruta (G_{mb}) y vacíos de aire (V_a) - Contenido de asfalto - Granulometría	1 núcleo de 25.4 cm (10 pulgadas)	1

E.4.5 Verificación

La verificación o supervisión de calidad del material pétreo, material asfáltico, mezcla asfáltica y densificación, se realizará al menos en el 10% de la frecuencia requerida en este documento de control de calidad o su fracción. Si el 10% de la frecuencia requerida es menor a dos muestras, se tomarán al menos dos muestras del proyecto completo para la evaluación de las características de: material pétreo, material asfáltico, mezcla asfáltica, y extracciones del tramo tendido y compactado.

E.4.6 Análisis estadístico de control de calidad

Todas las inspecciones y resultados de prueba serán registrados en los formatos correspondientes y la información estará disponible siempre que un representante del Contratante lo solicite.

Los resultados de las mediciones de campo o pruebas de laboratorio que se realicen a muestras seleccionadas al azar con un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, se analizarán, mediante cartas de control y otros métodos estadísticos de acuerdo con el Manual M-CAL-1-03 "Análisis Estadístico de Control de Calidad" para verificar la conformidad con los requisitos de calidad establecidos en el proyecto, detectar las deficiencias y desviaciones significativas en los procesos de construcción y aplicar de forma oportuna y económica las medidas correctivas que sean necesarias.

ANEXO 2: TRÁNSITO MEDIO

A. CONTENIDO

Este documento describe los requisitos y las características de calidad para el diseño de un pavimento flexible con una mezcla asfáltica de granulometría densa diseñadas en base a su desempeño y nivel de tránsito (número de ejes equivalentes: ESAL's).

El diseño del pavimento asfáltico dependerá del nivel de tránsito que circulará en el camino. El presente documento está referenciado a un nivel de tránsito medio:

- **Tránsito Medio: ESAL's de 10×10^6 a 30×10^6**

A partir de la selección del nivel de tránsito de diseño se determinarán los requerimientos de diseño y de calidad de la mezcla asfáltica. Para este tipo de tránsito, la mezcla asfáltica será fabricada con una granulometría densa o tipo SMA, con un TN de 19mm (3/4").

B. DEFINICIÓN

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla asfáltica compuesta por materiales pétreos, material asfáltico, filler y en algunos casos aditivos.

La carpeta asfáltica tendrá un espesor adecuado para desempeñar la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

La mezcla asfáltica diseñada por niveles de ejes equivalentes y en base a su desempeño, es una mezcla especialmente diseñada y construida para resistir deformaciones permanentes, fatiga y tener mayor resistencia a los agentes ambientales.

C. DISEÑO DE PAVIMENTO

Con base en la revisión y autorización del estudio de tránsito presentado por "EL CONTRATISTA", a la sección o secciones tipo de la carretera y el estudio geotécnico definitivo, "EL CONTRATISTA" elaborará el diseño de pavimento considerando:

- El método del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- El método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- El método del Instituto Mexicano del Transporte, IMTPAVE versión 3.0.
- Por otro método que elija “EL CONTRATISTA”.

D. CARPETA ASFÁLTICA

Los criterios de desempeño de la mezcla asfáltica para pavimento flexible estarán basados de acuerdo al nivel de tránsito definido en el inciso A. Para la selección de la muestra se considerarán tres aspectos: calidad de los materiales, diseño volumétrico de la mezcla asfáltica, y ensayos de desempeño.

D.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES

Cuando el material pétreo para estas mezclas pertenezca a más de un solo banco de materiales, se deberá hacer un mezclado homogéneo de los materiales de los diferentes bancos y su utilización para la mezcla asfáltica tendrá que ser aprobada por la Dependencia.

Todas las pruebas necesarias para definir la calidad serán desarrolladas por un laboratorio con reconocimiento AMAAC-IMT.

D.1.1 Agregado grueso

El agregado grueso (material pétreo retenido en la malla No. 4) será de un banco aprobado por la Dependencia, triturado totalmente a un tamaño nominal de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ”), debiendo cumplir éste con las especificaciones que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de calidad del agregado grueso

Característica	Norma	Especificación
Desgaste Los Ángeles, %	ASTM C131	30 máx.
Desgaste Microdeval, %	ASTM D6928	18 máx.
Intemperismo acelerado, %	ASTM C88	15 máx. (sulfato de sodio) 20 máx. (sulfato de magnesio)
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	ASTM D 5821	90 mín.
Partículas planas y alargadas, %	ASTM D 4791	5 a 1 %, 10 máx. ⁽¹⁾
Densidad del agregado grueso	ASTM C 127	≥ 2.4
Absorción del agregado grueso, %	ASTM C 127	Reportar
Adherencia con el asfalto, % de cubrimiento	Recomendación AMAAC RA-08	91 mín.

⁽¹⁾Suma de %planas + %alargadas

D.1.2 Agregado fino

El agregado fino (material que pasa la malla No. 4) Será de un banco aprobado por la dependencia para cumplir con las especificaciones marcadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de calidad del agregado fino

Característica	Norma	Especificación
Equivalente de arena,%	ASTM D 2419	50 mín.
Angularidad, %	AASHTO T 304	40 mín.
Azul de metileno, mg/g	Recomendación AMAAC RA-05	15 máx.
Densidad del agregado fino	ASTM C 128	≥ 2.4
Absorción del agregado fino	ASTM C 128	Reportar

D.1.3 Relleno mineral de aporte (filler)

Se define como filler de aporte a la fracción de material que pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm) y que se incorpora a la mezcla de manera complementaria, normalmente con el fin de cumplir con los requisitos granulométricos establecidos. El filler de aporte suele ser ceniza volante o material proveniente de la trituración de agregado fino. Este material se caracteriza por estar libre de aglomeraciones cuando se encuentra seco, además de estar libre de impurezas orgánicas y tener un índice de plasticidad no mayor a 4, así como un valor de azul de metileno no mayor a 15.

D.1.4 Material asfáltico

El cemento asfáltico que se utilice en la mezcla deberá ser caracterizado por Grado PG y cumplir la Norma SCT de asfaltos PG N·CMT·4·05·004 “Calidad de materiales asfálticos grado PG”. La caracterización se realizará de acuerdo a la Tabla 4.

De acuerdo a la selección del asfalto por Grado PG en base a la ubicación geográfica y tránsito, para este caso (tránsito medio), solo se considerará el incremento de un Grado PG según lo descrito en la misma Norma SCT de asfaltos PG N·CMT·4·05·004 (Tabla 1 de dicho documento).

En caso en que el proyecto se encuentre en una zona que requiera asfaltos con Grado PG 70-16 o superior, los cuales necesiten se logren mediante la adición de un modificador, se deberán realizar adicionalmente los ensayos descritos en la Tabla 3.

El licitante presentará en su propuesta técnica: carta compromiso del proveedor de material asfáltico, en donde se comprometa a elaborar un producto que cumpla con la Norma SCT de asfaltos PG, N·CMT·4·05·004 “Calidad de materiales asfálticos Grado PG”.

Tabla 3. Características de calidad del material asfáltico (ensayos adicionales)

Grado de Desempeño	64				70				76				82				
	- 16	- 22	- 28	- 34	- 16	- 22	- 28	- 34	- 16	- 22	- 28	- 34	- 16	- 22	- 28	- 34	
Temperatura máxima de diseño del pavimento, °C	64				70				76				82				
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	
Característica	Norma	Asfalto Original															
Punto de reblandecimiento ¹ , °C, mínimo	M-MMP-4-05-009	48								55							
Recuperación elástica por torsión ¹ @ 25°C, %, mínimo	M-MMP-4-05-024	N/A								30							
Separación de polímero en anillo-esfera ¹ , °C, máximo	M-MMP-4-05-022	N/A								2							
Después de envejecimiento en Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO) - (ASTM D 2872)																	
Ductilidad ¹ @ 25 °C y 5 cm/min; cm, mínimo	ASTM D113	50								N/A							
Recuperación elástica en ductilómetro ¹ @ 25 °C, %, mínimo	ASTM D6084	N/A								60							
1. Pruebas para determinar en el laboratorio de control de calidad de campo.																	
2. Pruebas a determinar en el laboratorio central. Considerar 5 días laborables para la entrega de resultados.																	

Tabla 4. Características de calidad del material asfáltico (Grado PG)

Grado de Desempeño		64				70				76				82					
		-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34		
Temperatura máxima de diseño del pavimento, °C		64				70				76				82					
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C		>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34		
Característica		Norma		Asfalto Original															
Punto de inflamación Cleveland ¹ , °C, mín.		ASTM D92		230															
Viscosidad rotacional ¹ @ 135 °C, Pa·s, máx.		ASTM D4402		3															
Corte dinámico ² Geometría: 25 mm, Separación: 1 mm.	G*/sinδ, kPa, mín.	ASTM D7175		1															
	Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C			64				70				76				82			
Después de envejecimiento en Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO) ² - (ASTM D 2872)																			
Cambio de masa ¹ , %, máx.		ASTM D2872		1															
Corte dinámico ² Geometría: 25 mm, Separación: 1 mm.	G*/sinδ, kPa, mín.	ASTM D7175		2.2															
	Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C			64				70				76				82			
Después de envejecimiento en Vasija de Presión y Temperatura (PAV) - (ASTM D 6521)																			
Temperatura de envejecimiento de PAV ² , °C	Climas normales	ASTM D6521		100															
	Climas desérticos			100				110											
Corte dinámico ² Geometría: 8 mm, Separación: 2 mm.	G*(sinδ), kPa, máx.	ASTM D7175		5000															
	Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C			28	25	22	19	31	28	25	22	34	31	28	25	37	34	31	28
Rigidez a flexión ² @ 60 s	Rigidez "S", MPa, máx.	ASTM D6648		300															
	Pendiente "m", mín.			0.3															
	Temperatura de prueba, °C			-6	-12	-18	-24	-6	-12	-18	-24	-6	-12	-18	-24	-6	-12	-18	-24
Nota: Para otros rangos de temperaturas, referirse a la norma ASTM D6373.																			
1. Pruebas a realizar en el laboratorio de control de calidad de campo.																			
2. Pruebas a realizar en el laboratorio central. Considerar 7 días laborales para la entrega de resultados.																			

Los ensayos deberán ser realizados por un laboratorio con reconocimiento AMAAC-IMT en la categoría completa de asfaltos.

D.2 DISEÑO VOLUMÉTRICO DE LA MEZCLA

El diseño de la mezcla se realizará por un diseñador con reconocimiento AMAAC-IMT y por un laboratorio aprobado por la dependencia, considerando como mínimo las propiedades volumétricas, la evaluación de la susceptibilidad a la humedad y la evaluación de la susceptibilidad a la deformación permanente. Las temperaturas de mezclado y compactación serán las recomendadas por el proveedor del producto asfáltico.

La granulometría de la mezcla asfáltica se apegará a la mencionada en la Tabla 5, en el eje horizontal se graficará la abertura de la malla en mm elevada a la 0.45 y en el eje vertical el por ciento que pasa, alojándose dentro de los puntos de control. La línea de Máxima densidad es una línea recta que se traza del tamaño máximo del agregado, del 100% de material que pasa al origen (Figura 1).

3. **Tamaño Máximo:** Un tamaño mayor que el tamaño nominal.

4. **Tamaño Nominal:** Un tamaño mayor que la primera malla o tamiz que retiene más del 10% de agregado.

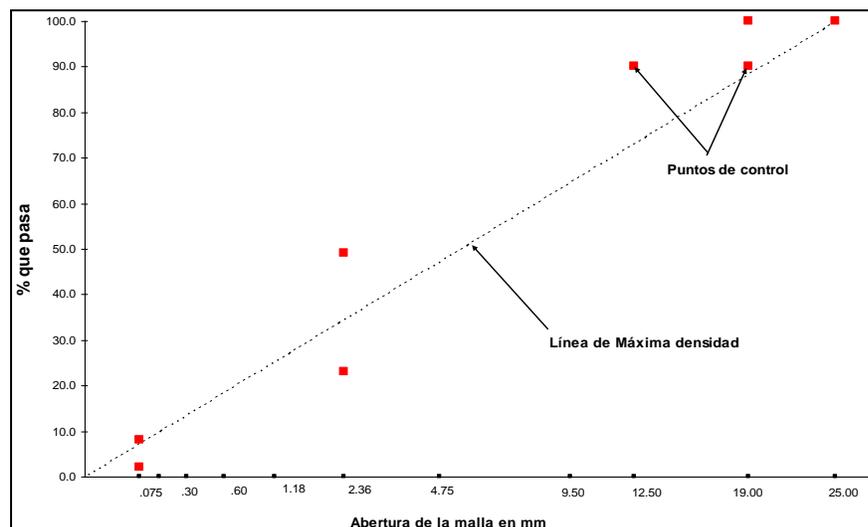


Figura 1 . Límites granulométricos para tamaño nominal 19 mm (3/4'')

Tabla 5. Puntos de control en la granulometría para tamaño nominal de 3/4" y 1/2"

Abertura de la malla (mm)	Tamaño nominal del material pétreo
	19 mm (3/4")
25.00	100 – 100
19.00	90 – 100
12.50	– 90
9.50	
4.75	
2.36	23 – 49
0.075	2 - 8

Nivel de Tránsito Medio:

La mezcla asfáltica puede ser diseñada tomando como base el Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013 para un tránsito Nivel II ($3 \times 10^6 < \text{ESAL's} < 30 \times 10^6$).

Protocolo AMAAC:

Fabricación de los especímenes mediante el Compactador Giratorio de acuerdo al número de giros especificados en la Tabla 6.

Tabla 6. Energía de compactación en el Compactador Giratorio

Parámetros de Compactación		
N _{ini}	N _{dis}	N _{máx}
8	100	160

La selección del contenido de material asfáltico estará en función del cumplimiento de las propiedades volumétricas indicadas en la Tabla 7.

Tabla 7. Requerimientos volumétricos

Densidad requerida (% de la gravedad específica teórica máxima - Gmm)			Vacíos de agregado mineral mínimo en %	Vacíos llenos de asfalto, %	Relación filler asfalto
Nivel de Compactación giratoria					
N _{ini}	N _{dis}	N _{máx}	TN 19mm		
≤ 90.5	96	≤ 98	13	65 - 75	0.6- 1.2

D.3 PROPIEDADES DE DESEMPEÑO

D.3.1 Determinación de la susceptibilidad de la mezcla asfáltica al daño inducido por humedad

Los especímenes de prueba deberán ser compactados a un $7,0 \pm 0,5$ por ciento de vacíos de aire. Se deberán acondicionar los especímenes, ensayar y calcular la relación de la resistencia a la tensión de acuerdo a lo indicado en la norma AASHTO T283.

La relación de la resistencia a la tensión deberá de ser mayor del 80%, en caso contrario se deberá ajustar el diseño para incrementar la resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla. Estos ajustes pueden incluir la adición de cal hidratada a la mezcla, la incorporación de aditivos mejoradores de adherencia, el cambio de agregados o asfalto.

D.3.2 Susceptibilidad a la deformación permanente

La prueba se realizará de acuerdo con la norma AASHTO T324 y cumplirá con lo indicado en la Tabla 8.

Tabla 8. Número de pasadas para la deformación máxima de 10mm

Número de ejes equivalentes de diseño ESAL	Mínimo de pasadas para la deformación máxima de 10 mm a 50°C
Entre 10×10^6 y 30×10^6	20,000

E. CONTROL DE CALIDAD

Previo a la producción de la mezcla asfáltica y arranque de la obra, se deberá: (1) verificar la calidad de los materiales a utilizar, (2) realizar la calibración de la planta de mezcla asfáltica, y (3) evaluar el equipo y procedimiento de construcción de la carpeta asfáltica en caliente. Es importante que esta etapa sea realizada antes del arranque de obra.

Nota: Todos los resultados de ensayos a reportar, indicados de las secciones E.1 a E.3, se deberán realizar por duplicado para verificar la repetibilidad del ensayo, y se reportará como resultado de una prueba el promedio de dos resultados individuales.

E.1 EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales a utilizar en la producción de la mezcla asfáltica deberán ser los mismos con los que se realizó el diseño de la mezcla. Si existiera un cambio en la fuente del agregado pétreo o en el material asfáltico, el Contratante deberá aprobar dicho cambio y se verificará el diseño de la mezcla en un laboratorio autorizado y reconocido previamente por el mismo.

E.1.1 Material pétreo en banco

Previo a trasladar el material pétreo a la planta de mezcla asfáltica, se deberán verificar las características de calidad para finos y gruesos indicados en la Tabla 9, así como la granulometría de las fracciones definidas en el diseño, utilizando los tamaños de malla especificadas en la Tabla 5, con el objetivo de verificar que el procedimiento de trituración no ha variado desde el diseño de la mezcla.

Tabla 9. Características de calidad en banco de materiales

Ensayo	Norma	Especificación
Caras fracturadas ¹ , % (2 o más)	ASTM D5821	90 mín.
Partículas planas y alargadas ¹ , %	ASTM D4791	Relación 5 a 1: 10 máx.
Equivalente de arena ¹ , %	ASTM D2419	50 mín.
Angularidad ¹ , %	ASTM C1252	40 mín.
1. Pruebas a realizar en el laboratorio de control de calidad de campo. Considerar 2 días laborales para la entrega de resultados.		

Una vez verificadas las características de la Tabla 9, se deberá trasladar el material pétreo a la planta de mezcla en caliente. El material pétreo se muestreará directamente de los almacenamientos de la planta. Se muestreará cada fracción del agregado a utilizar en la elaboración de la mezcla de acuerdo a la norma ASTM D75 "Práctica estándar para muestreo de agregados".

El laboratorio de control de calidad del Contratista determinará en campo la granulometría de cada fracción de material pétreo de acuerdo a la norma ASTM C136 "Método de prueba estándar

para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos”, utilizando los tamaños de malla especificadas en la Tabla 5 y las características físicas para agregado pétreo especificadas en la Tabla 1 y la Tabla 2 bajo los métodos de prueba especificados en las mismas. Se reportarán los valores obtenidos como parámetros de control de calidad de los materiales pétreos previo al arranque de obra.

E.1.2 Evaluación del material asfáltico en planta

Se tomará una muestra del material asfáltico —a utilizar en la producción de la mezcla asfáltica— del auto-tanque, de acuerdo a la norma ASTM D140 “*Práctica estándar para muestreo de materiales asfálticos*”. Se analizará la calidad del mismo de acuerdo a la clasificación por grado de desempeño (Grado PG) en base a los ensayos y especificaciones indicados en la Tabla 3 y la Tabla 4. Se reportarán los valores obtenidos como parámetros de control de calidad del material asfáltico previo al arranque de la obra.

E.2 CALIBRACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

E.2.1 Calibración de la granulometría de diseño

En cuanto los materiales de construcción estén disponibles, el Contratista calibrará la planta de mezcla en caliente en seco (sin uso de material asfáltico) con el objetivo de reproducir la estructura granulométrica del diseño de la mezcla. Para lo cual, el Contratista:

E.2.1.1 Tomará una muestra de la combinación de materiales pétreos de la banda transportadora, en la planta de mezcla en caliente de acuerdo al método ASTM D75 “*Práctica estándar para muestreo de agregados*”, fracción 5.3.2 “*Muestreo en la banda transportadora*”.

E.2.1.2 A las muestras tomadas de la banda transportadora se les determinará la granulometría de la combinación de materiales pétreos de acuerdo a la norma ASTM C136 “*Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos*”, utilizando las mallas especificadas en la Tabla 5.

E.2.1.3 Se realizarán los ajustes pertinentes en las dosificaciones de cada fracción del material pétreo para reproducir la curva granulométrica de diseño dentro de las tolerancias especificadas para granulometría en la Tabla 10 y dentro de los puntos de control especificados en la Tabla 5.

Tabla 10. Tolerancias en los requisitos de la mezcla asfáltica

Propiedad de composición de la mezcla	Método de extracción ¹ (Rotarex)	Método de ignición ²
	ASTM D2172	ASTM D6307
Contenido de asfalto, %	± 0,3	± 0,18
Material que pasa por las mallas superiores a la No. 4 (4,75mm) ¹	± 3	
Material que pasa por las mallas comprendidas entre la No. 8 (2,36mm) y la No. 100 (0,15mm) ¹	± 2	
Material que pasa la malla No. 200 (0,075mm) ¹	± 0,7	
Gravedad específica teórica de la mezcla compactada (G_{mm}) ¹	Reportar	
1. Pruebas para determinar en el laboratorio de control de calidad de campo.		
2. Pruebas a determinar en el laboratorio central. Considerar 10 días laborales para la entrega de resultados.		

E.2.3 Evaluación de la mezcla asfáltica

En cuanto la calibración de la combinación de materiales pétreos sea realizada (en seco), el Contratista deberá calibrar la planta de mezcla en caliente y apegándose a la fórmula de trabajo definida en el diseño de la mezcla en lo que se refiere a: estructura granulométrica de la combinación de materiales, contenido de material asfáltico, cantidad de filler o fibra en caso de requerirse, y temperaturas de mezclado. El Contratista producirá al menos 50 toneladas de mezcla asegurando una producción uniforme. Se tomarán al menos dos muestras de mezcla asfáltica durante la producción: a la salida del mezclador y caída al transportador de acuerdo al método ASTM D979 "Práctica estándar para muestreo de mezclas asfálticas" con una cantidad aproximada por muestra de 10 kg.

Esta mezcla cumplirá con la granulometría y contenido de asfalto con una tolerancia indicada en la Tabla 10 y dentro de los puntos de control especificados en la Tabla 5. Adicionalmente, se deberá obtener el valor de G_{mm} de la mezcla asfáltica. La elaboración de la mezcla se realizará

de acuerdo a las temperaturas de mezclado recomendadas por el proveedor del material asfáltico.

Si el contenido de asfalto y granulometría no cumplen con las tolerancias especificadas en la Tabla 10, se verificarán las propiedades volumétricas especificadas en la Tabla 4 para la mezcla producida en planta y compactada en el laboratorio central al número de giros especificados en la Tabla 3. En caso de no cumplir con las tolerancias requeridas, se realizarán los ajustes necesarios en la producción. El Contratista reportará estos valores al Contratante, junto con las acciones tomadas para corregir las desviaciones mayores a las permitidas con respecto a la mezcla de diseño.

E.3 CALIBRACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO (TRAMO DE PRUEBA)

Una vez concluido el proceso de calibración de la planta de mezcla en caliente, el Contratista producirá la mezcla asfáltica necesaria para realizar el tramo de prueba de 200 metros de longitud por un ancho de 7 metros, al espesor requerido en el proyecto; asegurando una producción uniforme dentro de las tolerancias mostradas en la Tabla 6.

E.3.1 Evaluación de la mezcla asfáltica

El Contratista realizará el muestreo de acuerdo a un procedimiento de números aleatorios. Se considerará el tramo de prueba como un solo lote y éste se dividirá en 3 sub-lotes. Cada muestra a tomar por sub-lote será de 20 kg. Se evaluará la mezcla asfáltica de acuerdo a las características establecidas en la Tabla 11. Se tomará la temperatura de la mezcla asfáltica en cada muestreo y se registrará como la temperatura de mezclado.

El Contratista deberá muestrear de acuerdo a la norma ASTM D979 "*Práctica estándar para muestreo de mezclas asfálticas*" a la salida del mezclador y caída al transportador. Si se requiere, el Contratista ajustará la producción de la mezcla en caliente para cumplir los rangos de tolerancia. Si los valores obtenidos en las pruebas de granulometría y contenido de asfalto de la Tabla 11, no cumplen con las tolerancias establecidas en la Tabla 10, se deberá regresar al proceso de calibración de planta E.2.2.

Tabla 11. Características requeridas en la evaluación de la mezcla asfáltica en el tramo de prueba

Lote	Sub-lotes	Características requeridas por Sub-lote
1	3	<ul style="list-style-type: none"> - Gravedad específica teórica máxima (G_{mm}) de la mezcla determinada en el laboratorio de campo y en el laboratorio central (ASTM D2041). - Contenido de asfalto de la mezcla asfáltica (ASTM D2172 ó ASTM D6307). - Granulometría del material tomado de la banda (ASTM C136).

E.3.2 Evaluación del tramo de prueba

El lote de mezcla producida para el tramo de prueba, será colocado en el espesor requerido en el proyecto.

Nota: Si después de los ajustes mencionados en la fracción E.2.2, la mezcla producida no cumple lo solicitado, el Contratista valorará el riesgo de aplicar una mezcla que pudiese llegar a presentar problemas de desempeño.

El patrón de compactación se definirá de acuerdo a aquel con el que se cumpla un 94 – 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}), determinada en el campo para la mezcla producida y tendida en el tramo de prueba, mediante el método ASTM D2041 “*Método de prueba estándar para determinar la gravedad específica teórica máxima y densidad de una mezcla asfáltica*”. Se realizarán mediciones de densificación, utilizando un densímetro nuclear o electromagnético (ensayo no destructivo), a cada 25m y en cinco posiciones transversales al eje.

Para los ensayos destructivos, se realizarán extracciones (núcleos) en campo de acuerdo a la norma ASTM D5361 “*Práctica estándar para el muestreo de mezcla asfáltica compactada para evaluación en laboratorio*”. El muestreo se realizará utilizando un procedimiento de números aleatorios. Se considerará un solo lote para todo el tramo de prueba y dos sub-lotes; por consiguiente cada sub-lote tendrá un tamaño de 100 m. El número de extracciones y ensayos a realizar por sub-lote se indican en la Tabla 12. Previo a la extracción de cada núcleo, se deberán tomar mediciones de la densidad utilizando el densímetro nuclear o electromagnético para la calibración del mismo.

Tabla 12. Ensayos para extracciones en tramo de prueba por sub-lote.

Extracciones	Características requeridas por extracción
6 núcleos de 10.1 cm (4 pulgadas)	- Gravedad específica bruta (G_{mb}). - Vacíos de aire (V_a). - Susceptibilidad al daño por humedad (TSR).
2 núcleos de 25.4 cm (10 pulgadas)	- Gravedad específica bruta (G_{mb}). - Vacíos de aire (V_a). - Susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente por rodera de una mezcla asfáltica tendida y compactada por medio de la Rueda de Hamburgo. - Contenido de asfalto. - Granulometría.
1 núcleo de 25.4 cm (10 pulgadas)	- Contenido de asfalto. - Granulometría.

Los núcleos extraídos de campo cumplirán con las especificaciones de desempeño requeridas en la Tabla 13 y con el porcentaje de compactación de 94 – 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}). Para el cálculo de los vacíos de aire y el porcentaje de gravedad específica teórica máxima (G_{mm}) utilizar el valor determinado en el laboratorio central de la evaluación de la mezcla asfáltica establecida en la fracción E.3.1 de este documento. En caso de que el tramo de prueba construido no cumpla con todos los objetivos definidos, el Contratista ejecutará los tramos de prueba necesarios hasta cumplir con ellos.

Tabla 13. Requisitos en pruebas de desempeño de la mezcla asfáltica

Ensayo	Recomendación	Especificación
Susceptibilidad de la mezcla asfáltica al daño inducido por humedad (TSR)	AMAAC RA-04	80% mín.
Susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente por rodera de una mezcla asfáltica tendida y compactada por medio de la Rueda de Hamburgo	AMAAC RA-01	20,000 pasadas mínimas para la deformación máxima de 10 mm.

E.3.3 Aceptación o rechazo del tramo de prueba

Si la mezcla no cumple con las tolerancias de la fórmula de trabajo requeridas en la Tabla 10, entonces el Contratante podrá aprobar el inicio de la obra con los ajustes a la mezcla asfáltica

hechos en campo con respecto al diseño original, sólo si la combinación de materiales pétreos cumplen con los requisitos de calidad establecidos en la Tabla 1 y la Tabla 2, el material asfáltico cumple con la calidad establecida en la Tabla 3 y la Tabla 4, la mezcla asfáltica cumple con los requerimientos volumétricos especificados en la Tabla 4, el porcentaje de compactación se encuentra en un rango de 94 – 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}), y los requisitos de desempeño indicados en la Tabla 13 cumplen las especificaciones.

Si a juicio del Contratante es necesario retirar el/los tramos de prueba defectuosos que no cumplan con los requerimientos establecidos, el Contratista los retirará y reemplazará, corriendo a cargo del Contratista los costos involucrados, hasta alcanzar los requerimientos marcados en la especificación particular.

E.4 CONTROL DE CALIDAD RUTINARIO

El control de calidad rutinario incluye la frecuencia de pruebas para: (a) mantener el proceso en control, (b) determinar rápidamente cuando el proceso esté fuera de control y (c) responder adecuadamente para controlar de nuevo el proceso. El control de calidad rutinario establece los requerimientos mínimos que el Contratista ejecutará durante el proyecto y comprende los siguientes puntos.

Nota: Todos los resultados de ensayos a reportar, indicados en esta sección, no se realizarán por duplicado.

E.4.1 Evaluación del material pétreo

Para verificar la uniformidad de la producción del material pétreo o bien realizar los ajustes pertinentes a la misma, se obtendrán muestras de acuerdo a la norma ASTM D75 “*Práctica estándar para muestreo de agregados*”, para cada fracción de material establecida. Se evaluará el agregado pétreo por cada 250 m³ de material extraído del banco. El tamaño de lote será de 250 m³ considerando un sub-lote para muestras de material pétreo tomado del banco.

Por otro lado, se evaluará el agregado en el almacenamiento de la planta de mezcla por cada 2,500 m³ utilizados en la fabricación de la muestra; considerando un lote de 2,500 m³ y un sub-

lote por lote. Los ensayos a evaluar y frecuencia de los mismos se indican en la Tabla 14, siguiendo un procedimiento de muestreo de números aleatorios.

Si el proyecto requiere una cantidad inferior a 2,500 m³ de material pétreo, se considerarán dos sub-lotes para realizar la caracterización de la calidad de la fracción gruesa y fina del agregado total de acuerdo a la Tabla 1 y a la Tabla 2.

Tabla 14. Frecuencia de muestreo de materiales pétreos para el control rutinario

Lote	Sub-lote	Lugar de muestreo	Tamaño de muestras parciales (kg)	Pruebas requeridas
Una muestra por cada 250 m ³ de material pétreo extraído del banco que se destinará para el proyecto particular	1	Almacenamiento en banco de material	5	Granulometría Equivalente de arena Azul de metileno
Una muestra por cada 2500 m ³ de material	1	Almacenamiento en planta de mezcla	40	Ensayos de Tablas 3 y 4

E.4.2 Evaluación del material asfáltico

A la llegada de cada auto-tanque de material asfáltico a la planta, se tomará 1 muestra de asfalto de 2 litros de acuerdo a la norma ASTM D140 “*Práctica estándar para muestreo de materiales asfálticos*”. Esta muestra se utilizará para determinar las características especificadas en la Tabla 15. En caso de que el material asfáltico no cumpla con las especificaciones mínimas establecidas en la Tabla 15, éste deberá rechazarse y regresar al proveedor. El material restante deberá ser almacenado y debidamente etiquetado para posibles verificaciones posteriores.

Tabla 15. Características de calidad para el material asfáltico a la llegada de cada auto-tanque

Característica	Norma	Especificación
Punto de inflamación Cleveland ¹ , °C	ASTM D92	230 mín
Punto de reblandecimiento ¹ , °C	M-MMP-4-05-009	PG 64: 48 mín, PG 70 a 82: 55 mín
Recuperación elástica por torsión ¹ a 25 °C, %	M-MMP-4-05-024	PG 64: N/A PG 70 a 82: 30 mín
1. Pruebas a realizar en el laboratorio de control de calidad de campo		

Aunado a lo anterior, cada 110 m³ de material asfáltico a utilizar en la producción de la mezcla, se tomará una segunda muestra de asfalto de 2 litros. Dicha muestra se enviará al laboratorio central para determinar las características de calidad especificadas en la Tabla 3 y la Tabla 4. El material asfáltico deberá cumplir con el Grado PG especificado en el proyecto, y los parámetros iniciales obtenidos en la sección E.1.2.

E.4.3 Evaluación de la mezcla asfáltica

Se muestreará la mezcla asfáltica a la salida del mezclador y caída al transportador de acuerdo a la norma ASTM D979 “*Práctica estándar para muestreo de mezclas asfálticas*”. La frecuencia del muestreo se realizará considerando un tamaño de lote de 700 m³, independientemente de los días que tarde la planta en finiquitar dicho lote. El tamaño de sub-lote será de 175 m³ (4 sub-lotes / lote). El muestreo se realizará de acuerdo a un procedimiento aleatorio. Si el tamaño de la producción del día es menor a 175 m³, se deberá tomar una muestra al final del día. El Contratista deberá llevar un registro diario de los siguientes puntos: temperatura del material asfáltico, temperatura de mezclado, volumen (m³ o ton) de mezcla producida al día. La frecuencia, tamaño de muestra, número de muestras y las características a determinar se establecen en la Tabla 16.

Tabla 16. Frecuencia, número y tamaño de muestra de la mezcla asfáltica

Frecuencia	Características a determinar	Tamaño de muestra requerido	Sub-lotes
Cada lote	- Gravedad específica teórica máxima (G _{mm}) - Contenido de asfalto (CA) - Granulometría	5 kg	4
Cada 5 lotes	- Susceptibilidad al daño por humedad y tensión indirecta (TSR) - Susceptibilidad a la deformación permanente con la Rueda Cargada de Hamburgo	40 kg	1

E.4.4 Tendido y compactación

El Contratista llevará un registro diario de los siguientes puntos durante la producción de mezcla asfáltica: número de camiones de mezcla aplicados, volumen de mezcla (m³ o ton) por camión, temperatura de tendido, temperaturas de inicio y finalización de compactación. La mezcla tendida

y compactada cumplirá con un rango de 94% - 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}).

La frecuencia, número de extracciones (núcleos) y métodos de ensayo a realizar en el tramo se especifica en la Tabla 17. El muestreo será determinado utilizando un procedimiento de muestreo de números aleatorios.

Si en el proyecto, la longitud de la vía es menor a las frecuencias establecidas en la Tabla 17, se determinarán al menos una vez cada una de las pruebas, excepto el porcentaje de gravedad específica teórica máxima (G_{mm}), en cuyo caso sí se realizarán al menos 5 mediciones en sentido longitudinal.

Tabla 17. Frecuencia, características y número de mediciones requeridas para un tramo aplicado

Frecuencia	Características a determinar	Método / Tamaño de muestra	Sub-lotes
Cada 50m en 5 puntos transversales al eje	- Porcentaje de compactación respecto a gravedad específica teórica máxima (G_{mm})	No destructivo con densímetro electromagnético o nuclear	N/A
Cada dos kilómetros / carril	- Gravedad específica bruta (G_{mb}) y vacíos de aire (V_a) - Susceptibilidad a la deformación permanente con la Rueda Cargada de Hamburgo - Contenido de asfalto - Granulometría	1 núcleo de 25.4 cm (10 pulgadas)	1
Cada diez kilómetros / carril	- Gravedad específica bruta (G_{mb}) - Susceptibilidad al daño por humedad y tensión indirecta (TSR)	6 núcleos de 10 cm (4 pulgadas)	1

E.4.5 Verificación

La verificación o supervisión de calidad del material pétreo, material asfáltico, mezcla asfáltica y densificación, se realizará al menos en el 10% de la frecuencia requerida en este documento de control de calidad o su fracción. Si el 10% de la frecuencia requerida es menor a dos muestras, se tomarán al menos dos muestras del proyecto completo para la evaluación de las

características de: material pétreo, material asfáltico, mezcla asfáltica, y extracciones del tramo tendido y compactado.

E.4.6 Análisis estadístico de control de calidad

Todas las inspecciones y resultados de prueba serán registrados en los formatos correspondientes y la información estará disponible siempre que un representante del Contratante lo solicite.

Los resultados de las mediciones de campo o pruebas de laboratorio que se realicen a muestras seleccionadas al azar con un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, se analizarán, mediante cartas de control y otros métodos estadísticos de acuerdo con el Manual M-CAL-1-03 “Análisis Estadístico de Control de Calidad” para verificar la conformidad con los requisitos de calidad establecidos en el proyecto, detectar las deficiencias y desviaciones significativas en los procesos de construcción y aplicar de forma oportuna y económica las medidas correctivas que sean necesarias.

ANEXO 3: TRÁNSITO ALTO

A. CONTENIDO

Este documento describe los requisitos y las características de calidad para el diseño de un pavimento flexible con una mezcla asfáltica de granulometría densa diseñadas en base a su desempeño y nivel de tránsito (número de ejes equivalentes: ESAL's).

El diseño del pavimento asfáltico dependerá del nivel de tránsito que circulará en el camino. El presente documento está referenciado a un nivel de tránsito alto:

- **Tránsito Alto: ESAL's > 30x10⁶**

A partir de la selección del nivel de tránsito de diseño se determinarán los requerimientos de diseño y de calidad de la mezcla asfáltica. Para este tipo de tránsito, se recomienda que la estructura del pavimento cuente con dos diferentes capas de mezcla asfáltica: mezcla asfáltica estructural y mezcla asfáltica de rodadura, donde el tamaño nominal dependerá de la capa del pavimento.

B. DEFINICIÓN

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla asfáltica compuesta por materiales pétreos, material asfáltico, filler y en algunos casos aditivos.

La carpeta asfáltica tendrá un espesor adecuado para desempeñar la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento.

La mezcla asfáltica diseñada por niveles de ejes equivalentes y en base a su desempeño, es una mezcla especialmente diseñada y construida para resistir deformaciones permanentes, fatiga y tener mayor resistencia a los agentes ambientales.

C. DISEÑO DE PAVIMENTO

Con base en la revisión y autorización del estudio de tránsito presentado por "EL CONTRATISTA", a la sección o secciones tipo de la carretera y el estudio geotécnico definitivo, "EL CONTRATISTA" elaborará el diseño de pavimento considerando:

- El método del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- El método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- El método del Instituto Mexicano del Transporte, IMTPAVE versión 3.0.
- Por otro método que elija “EL CONTRATISTA”.

D. CARPETA ASFÁLTICA

Los criterios de desempeño de la mezcla asfáltica para pavimento flexible estarán basados de acuerdo al nivel de tránsito definido en el inciso A. Para la selección de la muestra se considerarán tres aspectos: calidad de los materiales, diseño volumétrico de la mezcla asfáltica, y ensayos de desempeño.

D.1 REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES

Cuando el material pétreo para estas mezclas pertenezca a más de un solo banco de materiales, se deberá hacer un mezclado homogéneo de los materiales de los diferentes bancos y su utilización para la mezcla asfáltica tendrá que ser aprobada por la Dependencia.

Todas las pruebas necesarias para definir la calidad serán desarrolladas por un laboratorio con reconocimiento AMAAC-IMT.

D.1.1 Agregado grueso

El agregado grueso (material pétreo retenido en la malla No. 4) será de un banco aprobado por la Dependencia, triturado totalmente a un tamaño nominal de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ”), debiendo cumplir éste con las especificaciones que se muestran en la Tabla 1

Tabla 1. Características de calidad del agregado grueso

Característica	Norma	Especificación
Desgaste Los Ángeles, %	ASTM C131	30 máx.
Desgaste Microdeval, %	ASTM D6928	18 máx.
Intemperismo acelerado, %	ASTM C88	15 máx. (sulfato de sodio) 20 máx. (sulfato de magnesio)
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	ASTM D 5821	90 mín.
Partículas planas y alargadas, %	ASTM D 4791	5 a 1 %, 10 máx. ⁽¹⁾
Densidad del agregado grueso	ASTM C 127	≥ 2.4
Absorción del agregado grueso, %	ASTM C 127	Reportar
Adherencia con el asfalto, % de cubrimiento	Recomendación AMAAC RA-08	90 mín.

⁽¹⁾Suma de %planas + %alargadas

D.1.2 Agregado fino

El agregado fino (material que pasa la malla No. 4) Será de un banco aprobado por la dependencia para cumplir con las especificaciones marcadas en la Tabla 2.

Tabla 2.

Tabla 2. Características de calidad del agregado fino

Característica	Norma	Especificación
Equivalente de arena,%	ASTM D 2419	50 mín.
Angularidad, %	AASHTO T 304	40 mín.
Azul de metileno, mg/g	Recomendación AMAAC RA-05	15 máx.
Densidad del agregado fino	ASTM C 128	≥ 2.4
Absorción del agregado fino	ASTM C 128	Reportar

D.1.3 Relleno mineral de aporte (filler)

Se define como filler de aporte a la fracción de material que pasa el tamiz No. 200 (0.075 mm) y que se incorpora a la mezcla de manera complementaria, normalmente con el fin de cumplir con los requisitos granulométricos establecidos. El filler de aporte suele ser ceniza volante o material proveniente de la trituración de agregado fino. Este material se caracteriza por estar libre de

aglomeraciones cuando se encuentra seco, además de estar libre de impurezas orgánicas y tener un índice de plasticidad no mayor a 4, así como un valor de azul de metileno no mayor a 15.

D.1.4 Material asfáltico

El cemento asfáltico que se utilice en la mezcla deberá ser caracterizado por Grado PG y cumplir la Norma SCT de asfaltos PG N·CMT·4·05·004 “Calidad de materiales asfálticos grado PG”. La caracterización se realizará de acuerdo a la Tabla 4.

De acuerdo a la selección del asfalto por Grado PG en base a la ubicación geográfica y tránsito, para este caso (tránsito alto), solo se considerará el incremento de un Grado PG según lo descrito en la misma Norma SCT de asfaltos PG N·CMT·4·05·004 (Tabla 1 de dicho documento). Posteriormente, se deberán realizar todos los ensayos de desempeño a la mezcla asfáltica establecidos en este documento, y sólo en caso de no cumplir con el desempeño requerido, se aumentará un Grado PG adicional.

Tabla 3. Características de calidad del material asfáltico (ensayos adicionales)

Grado de Desempeño		64				70				76				82			
		- 16	- 22	- 28	- 34	- 16	- 22	- 28	- 34	- 16	- 22	- 28	- 34	- 16	- 22	- 28	- 34
Temperatura máxima de diseño del pavimento, °C		64				70				76				82			
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C		>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34	>- 16	>- 22	>- 28	>- 34
Característica	Norma	Asfalto Original															
Punto de reblandecimiento ¹ , °C, mínimo	M-MMP-4-05-009	48								55							
Recuperación elástica por torsión ¹ @ 25°C, %, mínimo	M-MMP-4-05-024	N/A								30							
Separación de polímero en anillo-esfera ¹ , °C, máximo	M-MMP-4-05-022	N/A								2							
Después de envejecimiento en Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO) - (ASTM D 2872)																	
Ductilidad ¹ @ 25 °C y 5 cm/min; cm, mínimo	ASTM D113	50								N/A							
Recuperación elástica en ductilómetro ¹ @ 25 °C, %, mínimo	ASTM D6084	N/A								60							
1. Pruebas para determinar en el laboratorio de control de calidad de campo.																	
2. Pruebas a determinar en el laboratorio central. Considerar 5 días laborables para la entrega de resultados.																	

Tabla 4. Características de calidad del material asfáltico (Grado PG)

Grado de Desempeño		64				70				76				82					
		-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34	-16	-22	-28	-34		
Temperatura máxima de diseño del pavimento, °C		64				70				76				82					
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C		>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34	>-16	>-22	>-28	>-34		
Característica		Norma		Asfalto Original															
Punto de inflamación Cleveland ¹ , °C, mín.		ASTM D92		230															
Viscosidad rotacional ¹ @ 135 °C, Pa·s, máx.		ASTM D4402		3															
Corte dinámico ² Geometría: 25 mm, Separación: 1 mm.	G*/sinδ, kPa, mín.	ASTM D7175		1															
	Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C			64				70				76				82			
Después de envejecimiento en Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO) ² - (ASTM D 2872)																			
Cambio de masa ¹ , %, máx.		ASTM D2872		1															
Corte dinámico ² Geometría: 25 mm, Separación: 1 mm.	G*/sinδ, kPa, mín.	ASTM D7175		2.2															
	Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C			64				70				76				82			
Después de envejecimiento en Vasija de Presión y Temperatura (PAV) - (ASTM D 6521)																			
Temperatura de envejecimiento de PAV ² , °C	Climas normales	ASTM D6521		100															
	Climas desérticos			100				110											
Corte dinámico ² Geometría: 8 mm, Separación: 2 mm.	G*(sinδ), kPa, máx.	ASTM D7175		5000															
	Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C			28	25	22	19	31	28	25	22	34	31	28	25	37	34	31	28
Rigidez a flexión ² @ 60 s	Rigidez "S", MPa, máx.	ASTM D6648		300															
	Pendiente "m", mín.			0.3															
	Temperatura de prueba, °C			-6	-12	-18	-24	-6	-12	-18	-24	-6	-12	-18	-24	-6	-12	-18	-24
Nota: Para otros rangos de temperaturas, referirse a la norma ASTM D6373. 1. Pruebas a realizar en el laboratorio de control de calidad de campo. 2. Pruebas a realizar en el laboratorio central. Considerar 7 días laborales para la entrega de resultados.																			

En caso en que el proyecto se encuentre en una zona que requiera asfaltos con Grado PG 70-16 o superior, los cuales necesiten se logren mediante la adición de un modificador, se deberán realizar adicionalmente los ensayos descritos en la Tabla 3.

El licitante presentará en su propuesta técnica: carta compromiso del proveedor de material asfáltico, en donde se comprometa a elaborar un producto que cumpla con la Norma SCT de asfaltos PG, N·CMT·4·05·004 “Calidad de materiales asfálticos Grado PG”.

Los ensayos deberán ser realizados por un laboratorio con reconocimiento AMAAC-IMT en la categoría completa de asfaltos.

D.2 DISEÑO VOLUMÉTRICO DE LA MEZCLA

El diseño de la mezcla se realizará por un diseñador con reconocimiento AMAAC-IMT y por un laboratorio aprobado por la dependencia, considerando como mínimo las propiedades volumétricas, la evaluación de la susceptibilidad a la humedad y la evaluación de la susceptibilidad a la deformación permanente. Las temperaturas de mezclado y compactación serán las recomendadas por el proveedor del producto asfáltico.

La granulometría de la mezcla asfáltica se apegará a la mencionada en la Tabla 5, en el eje horizontal se graficará la abertura de la malla en mm elevada a la 0.45 y en el eje vertical el por ciento que pasa, alojándose dentro de los puntos de control. La línea de Máxima densidad es una línea recta que se traza del tamaño máximo del agregado, del 100% de material que pasa al origen (Figura 1).

5. **Tamaño Máximo:** Un tamaño mayor que el tamaño nominal.

6. **Tamaño Nominal:** Un tamaño mayor que la primera malla o tamiz que retiene más del 10% de agregado.

Tabla 5. Puntos de control en la granulometría para tamaño nominal de 3/4" y 1/2"

Abertura de la malla (mm)	Tamaño nominal del material pétreo
	19 mm (3/4")
25.00	100 – 100
19.00	90 – 100
12.50	– 90
9.50	
4.75	
2.36	23 – 49
0.075	2 - 8

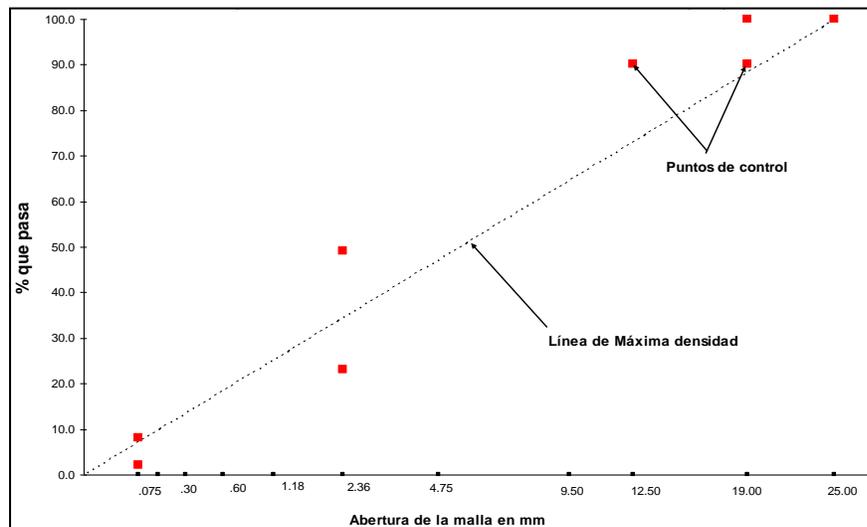


Figura 1. Límites granulométricos para tamaño nominal 19 mm (3/4’')

Nivel de Tránsito Alto:

La mezcla asfáltica puede ser diseñada tomando como base el Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013 para un tránsito Nivel IV (ESAL's > 30x10⁶).

Protocolo AMAAC:

Fabricación de los especímenes mediante el Compactador Giratorio de acuerdo al número de giros especificados en la Tabla 3.

Tabla 6. Energía de compactación en el Compactador Giratorio

Parámetros de Compactación		
N _{ini}	N _{dis}	N _{máx}
8	100	160

La selección del contenido de material asfáltico estará en función del cumplimiento de las propiedades volumétricas indicadas en la Tabla 4.

Tabla 7. Requerimientos volumétricos

Densidad requerida (% de la gravedad específica teórica máxima - Gmm)			Vacíos de agregado mineral mínimo en %	Vacíos llenos de asfalto, %	Relación filler asfalto
Nivel de Compactación giratoria					
N _{ini}	N _{dis}	N _{máx}	TN 19mm		
≤ 90.5	96	≤ 98	13	65 - 75	0.6 -1.2

D.3 PROPIEDADES DE DESEMPEÑO

D.3.1 Determinación de la susceptibilidad de la mezcla asfáltica al daño inducido por humedad

Los especímenes de prueba deberán ser compactados a un $7,0 \pm 0,5$ por ciento de vacíos de aire. Se deberán acondicionar los especímenes, ensayar y calcular la relación de la resistencia a la tensión de acuerdo a lo indicado en la norma AASHTO T283.

La relación de la resistencia a la tensión deberá de ser mayor del 80%, en caso contrario se deberá ajustar el diseño para incrementar la resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla. Estos ajustes pueden incluir la adición de cal hidratada a la mezcla, la incorporación de aditivos mejoradores de adherencia, el cambio de agregados o asfalto.

D.3.2 Susceptibilidad a la deformación permanente

La prueba se realizará de acuerdo con la norma AASHTO T324 y cumplirá con lo indicado en la Tabla 8.

Tabla 8. Número de pasadas para la deformación máxima de 10mm

Número de ejes equivalentes de diseño ESAL	Mínimo de pasadas para la deformación máxima de 10 mm a 50°C
> 30×10^6	20,000

D.3.3 Módulo dinámico

Se deberá realizar el ensayo de módulo dinámico de acuerdo a lo indicado en la Norma AASHTO T 342 -11 “*Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA)*”.

Los vacíos de aire de los especímenes de prueba deberán estar dentro de un rango del 6.5 al 7.0%, los especímenes con vacíos de aire que no cumplan este criterio deberán ser rechazados.

Los especímenes de prueba de módulo dinámico ($|E^*|$) deberán ser extraídos y cortados de especímenes compactados en el compactador giratorio, con un diámetro de 150 mm y una altura de por lo menos 170 mm. El diámetro promedio de los especímenes extraídos deberá estar entre 100 y 104 mm con una desviación estándar de 1.0 mm. La altura promedio del espécimen de prueba deberá estar entre 147.5 y 152.5 mm.

Por lo menos dos especímenes deberán ser ensayados de tal forma que se pueda determinar la curva maestra de la mezcla asfáltica. Esto significa evaluar por lo menos 5 temperaturas (temperaturas propuestas 0°C, 10°C, 20°C, 30°C) y cinco frecuencias (frecuencias propuestas 0.1Hz, 0.5Hz, 1Hz, 5 Hz y 10Hz). A partir de estas dos curvas maestras se determinará el valor promedio del módulo dinámico a 20 °C y una frecuencia de aplicación de carga de 10 Hz. El promedio de los especímenes deberá de cumplir con lo indicado en la Tabla 9. Valores mínimos de módulos dinámicos, también será necesario reportar el ángulo de fase obtenido del ensayo.

Tabla 9. Valores mínimos de $|E^*|$ (20 C°, 10 Hz)

Número de ejes equivalentes de diseño ESAL	Tipo de mezcla asfáltica	Valor mínimo de $ E^* $ (MPa)
> 30x10 ⁶	Mezcla asfáltica de alto desempeño	5,000

D.3.4 Resistencia a la fatiga

Se deberá realizar el ensayo de fatiga en mezclas asfálticas de acuerdo a lo indicado en norma ASTM D7460-10 “*Standard Test Method for Determining Fatigue Failure of Compacted Asphalt Concrete Subjected to Repeated Flexural Bending*” o la norma AASHTO T321-07 “*Standard Method of Test for Determining the Fatigue Life of Compacted Hot – Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending*”.

Los especímenes elaborados en laboratorio serán prismas rectangulares con las dimensiones necesarias para cortar por lo menos 6 mm de cada cara, obteniéndose después del corte especímenes de prueba (vigas) con las siguientes dimensiones: 380 ± 6 mm de largo x 63 ± 2 mm de ancho x 50 ± 2 mm de altura

Los especímenes de prueba (vigas) deberán de tener un contenido de vacíos de aire un rango del 6.5 al 7.0%, con una variación entre ellos del $\pm 0,5\%$, los especímenes con vacíos de aire que no cumplan este criterio deberán ser rechazados.

Se ensayarán al menos seis especímenes de prueba (vigas) a cuatro niveles de deformación para obtener la ley de fatiga, especímenes adicionales deberán ser ensayados si se presenta una gran dispersión en los resultados para un nivel de deformación. Los niveles de deformación recomendados se encuentran entre 700 a 300 microdeformaciones, para cada nivel de deformación seleccionado deberán de ensayarse al menos dos especímenes de prueba (vigas). Se recomienda evaluar dos niveles de micro-deformación de forma inicial; el nivel inferior de deformación (300), el doble de la magnitud de la deformación inicial (600) y a partir de los datos obtenidos seleccionar otros dos niveles de micro-deformación dentro del rango establecido.

Los especímenes de prueba (vigas) deberán ser ensayados a una frecuencia de 10 Hz y a una temperatura de 20 °C. La resistencia a la fatiga deberá de cumplir con los requerimientos indicados en la Tabla 10.

Tabla 10. Requisitos de la resistencia a la fatiga (20 C°, 10 Hz)

Número de ejes equivalentes de diseño ESAL	Tipo de mezcla asfáltica	Valor mínimo deformación a un millón de repeticiones de carga, ϵ_6 (Microdeformaciones)
$> 30 \times 10^6$	Mezcla asfáltica de alto desempeño	400

E. CONTROL DE CALIDAD

Previo a la producción de la mezcla asfáltica y arranque de la obra, se deberá: (1) verificar la calidad de los materiales a utilizar, (2) realizar la calibración de la planta de mezcla asfáltica, y (3)

evaluar el equipo y procedimiento de construcción de la carpeta asfáltica en caliente. Es importante que esta etapa sea realizada antes del arranque de obra.

Nota: Todos los resultados de ensayos a reportar, indicados de las secciones E.1 a E.3, se deberán realizar por duplicado para verificar la repetibilidad del ensayo, y se reportará como resultado de una prueba el promedio de dos resultados individuales.

E.1 EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES

Los materiales a utilizar en la producción de la mezcla asfáltica deberán ser los mismos con los que se realizó el diseño de la mezcla. Si existiera un cambio en la fuente del agregado pétreo o en el material asfáltico, el Contratante deberá aprobar dicho cambio y se verificará el diseño de la mezcla en un laboratorio autorizado y reconocido previamente por el mismo.

E.1.1 Material pétreo en banco

Previo a trasladar el material pétreo a la planta de mezcla asfáltica, se deberán verificar las características de calidad para finos y gruesos indicados en la Tabla 11, así como la granulometría de las fracciones definidas en el diseño, utilizando los tamaños de malla especificadas en la Tabla 5

Tabla, con el objetivo de verificar que el procedimiento de trituración no ha variado desde el diseño de la mezcla.

Tabla 11. Características de calidad en banco de materiales

Ensayo	Norma	Especificación
Caras fracturadas ¹ , % (2 o más)	ASTM D5821	90 mín.
Partículas planas y alargadas ¹ , %	ASTM D4791	Relación 5 a 1: 10 máx.
Equivalente de arena ¹ , %	ASTM D2419	50 mín.
Angularidad ¹ , %	ASTM C1252	40 mín.
1. Pruebas a realizar en el laboratorio de control de calidad de campo. Considerar 2 días laborales para la entrega de resultados.		

Una vez verificadas las características de la Tabla 11, se deberá trasladar el material pétreo a la planta de mezcla en caliente. El material pétreo se muestreará directamente de los almacenamientos de la planta. Se muestreará cada fracción del agregado a utilizar en la

elaboración de la mezcla de acuerdo a la norma ASTM D75 “*Práctica estándar para muestreo de agregados*”.

El laboratorio de control de calidad del Contratista determinará en campo la granulometría de cada fracción de material pétreo de acuerdo a la norma ASTM C136 “*Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos*”, utilizando los tamaños de malla especificadas en la Tabla 5 y las características físicas para agregado pétreo especificadas en la Tabla 1 y la Tabla 2, bajo los métodos de prueba especificados en las mismas. Se reportarán los valores obtenidos como parámetros de control de calidad de los materiales pétreos previo al arranque de obra.

E.1.2 Evaluación del material asfáltico en planta

Se tomará una muestra del material asfáltico —a utilizar en la producción de la mezcla asfáltica— del auto-tanque, de acuerdo a la norma ASTM D140 “*Práctica estándar para muestreo de materiales asfálticos*”. Se analizará la calidad del mismo de acuerdo a la clasificación por grado de desempeño (Grado PG) en base a los ensayos y especificaciones indicados en la Tabla 3 y la Tabla 4. Se reportarán los valores obtenidos como parámetros de control de calidad del material asfáltico previo al arranque de la obra.

E.2 CALIBRACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

E.2.1 Calibración de la granulometría de diseño

En cuanto los materiales de construcción estén disponibles, el Contratista calibrará la planta de mezcla en caliente en seco (sin uso de material asfáltico) con el objetivo de reproducir la estructura granulométrica del diseño de la mezcla. Para lo cual, el Contratista:

E.2.1.1 Tomará una muestra de la combinación de materiales pétreos de la banda transportadora, en la planta de mezcla en caliente de acuerdo al método ASTM D75 “*Práctica estándar para muestreo de agregados*”, fracción 5.3.2 “*Muestreo en la banda transportadora*”.

E.2.1.2 A las muestras tomadas de la banda transportadora se les determinará la granulometría de la combinación de materiales pétreos de acuerdo a la norma ASTM C136 “Método de prueba estándar para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos”, utilizando las mallas especificadas en la Tabla 5.

E.2.1.3 Se realizarán los ajustes pertinentes en las dosificaciones de cada fracción del material pétreo para reproducir la curva granulométrica de diseño dentro de las tolerancias especificadas para granulometría en la Tabla 12 y dentro de los puntos de control especificados en la Tabla 5.

Tabla 12. Tolerancias en los requisitos de la mezcla asfáltica

Propiedad de composición de la mezcla	Método de extracción ¹ (Rotarex)	Método de ignición ²
	ASTM D2172	ASTM D6307
Contenido de asfalto, %	± 0,3	± 0,18
Material que pasa por las mallas superiores a la No. 4 (4,75mm) ¹	± 3	
Material que pasa por las mallas comprendidas entre la No. 8 (2,36mm) y la No. 100 (0,15mm) ¹	± 2	
Material que pasa la malla No. 200 (0,075mm) ¹	± 0,7	
Gravedad específica teórica de la mezcla compactada (G_{mm}) ¹	Reportar	
1. Pruebas para determinar en el laboratorio de control de calidad de campo.		
2. Pruebas a determinar en el laboratorio central. Considerar 10 días laborales para la entrega de resultados.		

E.2.2 Evaluación de la mezcla asfáltica

En cuanto la calibración de la combinación de materiales pétreos sea realizada (en seco), el Contratista deberá calibrar la planta de mezcla en caliente y apegándose a la fórmula de trabajo definida en el diseño de la mezcla en lo que se refiere a: estructura granulométrica de la combinación de materiales, contenido de material asfáltico, cantidad de filler o fibra en caso de requerirse, y temperaturas de mezclado. El Contratista producirá al menos 50 toneladas de mezcla asegurando una producción uniforme. Se tomarán al menos dos muestras de mezcla asfáltica durante la producción: a la salida del mezclador y caída al transportador de acuerdo al

método ASTM D979 “Práctica estándar para muestreo de mezclas asfálticas” con una cantidad aproximada por muestra de 10 kg.

Esta mezcla cumplirá con la granulometría y contenido de asfalto con una tolerancia indicada en la Tabla 12 y dentro de los puntos de control especificados en la Tabla 5. Adicionalmente, se deberá obtener el valor de G_{mm} de la mezcla asfáltica. La elaboración de la mezcla se realizará de acuerdo a las temperaturas de mezclado recomendadas por el proveedor del material asfáltico.

Si el contenido de asfalto y granulometría no cumplen con las tolerancias especificadas en la Tabla 12, se verificarán las propiedades volumétricas especificadas en la Tabla 4 para la mezcla producida en planta y compactada en el laboratorio central al número de giros especificados en la Tabla 3. En caso de no cumplir con las tolerancias requeridas, se realizarán los ajustes necesarios en la producción. El Contratista reportará estos valores al Contratante, junto con las acciones tomadas para corregir las desviaciones mayores a las permitidas con respecto a la mezcla de diseño.

E.3 CALIBRACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO (TRAMO DE PRUEBA)

Una vez concluido el proceso de calibración de la planta de mezcla en caliente, el Contratista producirá la mezcla asfáltica necesaria para realizar el tramo de prueba de 200 metros de longitud por un ancho de 7 metros, al espesor requerido en el proyecto; asegurando una producción uniforme dentro de las tolerancias mostradas en la Tabla 6.

E.3.1 Evaluación de la mezcla asfáltica

El Contratista realizará el muestreo de acuerdo a un procedimiento de números aleatorios. Se considerará el tramo de prueba como un solo lote y éste se dividirá en 3 sub-lotes. Cada muestra a tomar por sub-lote será de 20 kg. Se evaluará la mezcla asfáltica de acuerdo a las características establecidas en la Tabla 13. Se tomará la temperatura de la mezcla asfáltica en cada muestreo y se registrará como la temperatura de mezclado.

El Contratista deberá muestrear de acuerdo a la norma ASTM D979 “*Práctica estándar para muestreo de mezclas asfálticas*” a la salida del mezclador y caída al transportador. Si se requiere, el Contratista ajustará la producción de la mezcla en caliente para cumplir los rangos de tolerancia. Si los valores obtenidos en las pruebas de granulometría y contenido de asfalto de la Tabla 13, no cumplen con las tolerancias establecidas en la Tabla 12, se deberá regresar al proceso de calibración de planta E.2.2.

Tabla 13. Características requeridas en la evaluación de la mezcla asfáltica en el tramo de prueba

Lote	Sub-lotes	Características requeridas por Sub-lote
1	3	<ul style="list-style-type: none"> - Gravedad específica teórica máxima (G_{mm}) de la mezcla determinada en el laboratorio de campo y en el laboratorio central (ASTM D2041). - Contenido de asfalto de la mezcla asfáltica (ASTM D2172 ó ASTM D6307). - Granulometría del material tomado de la banda (ASTM C136).

E.3.2 Evaluación del tramo de prueba

El lote de mezcla producida para el tramo de prueba, será colocado en el espesor requerido en el proyecto.

Nota: Si después de los ajustes mencionados en la fracción E.2.2, la mezcla producida no cumple lo solicitado, el Contratista valorará el riesgo de aplicar una mezcla que pudiese llegar a presentar problemas de desempeño.

El patrón de compactación se definirá de acuerdo a aquel con el que se cumpla un 94 – 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}), determinada en el campo para la mezcla producida y tendida en el tramo de prueba, mediante el método ASTM D2041 “*Método de prueba estándar para determinar la gravedad específica teórica máxima y densidad de una mezcla asfáltica*”. Se realizarán mediciones de densificación, utilizando un densímetro nuclear o electromagnético (ensayo no destructivo), a cada 25m y en cinco posiciones transversales al eje.

Para los ensayos destructivos, se realizarán extracciones (núcleos) en campo de acuerdo a la norma ASTM D5361 “Práctica estándar para el muestreo de mezcla asfáltica compactada para evaluación en laboratorio”. El muestreo se realizará utilizando un procedimiento de números aleatorios. Se considerará un solo lote para todo el tramo de prueba y dos sub-lotes; por consiguiente cada sub-lote tendrá un tamaño de 100 m. El número de extracciones y ensayos a realizar por sub-lote se indican en la Tabla 14. Previo a la extracción de cada núcleo, se deberán tomar mediciones de la densidad utilizando el densímetro nuclear o electromagnético para la calibración del mismo.

Tabla 14. Ensayos para extracciones en tramo de prueba por sub-lote.

Extracciones	Características requeridas por extracción
6 núcleos de 10.1 cm (4 pulgadas)	- Gravedad específica bruta (G_{mb}). - Vacíos de aire (V_a). - Susceptibilidad al daño por humedad (TSR).
2 núcleos de 25.4 cm (10 pulgadas)	- Gravedad específica bruta (G_{mb}). - Vacíos de aire (V_a). - Susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente por rodera de una mezcla asfáltica tendida y compactada por medio de la Rueda de Hamburgo. - Contenido de asfalto. - Granulometría.
1 núcleo de 25.4 cm (10 pulgadas)	- Contenido de asfalto. - Granulometría.
2 núcleos de 10.1 cm de diámetro y 15 cm alto	- Módulo dinámico
4 vigas de 50x63x380cm	- Resistencia a la fatiga

Los núcleos extraídos de campo cumplirán con las especificaciones de desempeño requeridas en la Tabla 15 y con el porcentaje de compactación de 94 – 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}). Para el cálculo de los vacíos de aire y el porcentaje de gravedad específica teórica máxima (G_{mm}) utilizar el valor determinado en el laboratorio central de la evaluación de la mezcla asfáltica establecida en la fracción E.3.1 de este documento. En caso de que el tramo de prueba construido no cumpla con todos los objetivos definidos, el Contratista ejecutará los tramos de prueba necesarios hasta cumplir con ellos.

Tabla 15. Requisitos en pruebas de desempeño de la mezcla asfáltica

Ensayo	Recomendación	Especificación
Susceptibilidad de la mezcla asfáltica al daño inducido por humedad (TSR)	AMAAC RA-04	80% mín.
Susceptibilidad a la humedad y a la deformación permanente por rodera de una mezcla asfáltica tendida y compactada por medio de la Rueda de Hamburgo	AMAAC RA-01	20,000 pasadas mínimas para la deformación máxima de 10 mm.
Módulo dinámico	AASHTO T342-11	El valor especificado en el diseño (Mín. 5,000 MPa)
Resistencia a la fatiga	ASTM D7460-10	El valor especificado en el diseño (Mín. 400 microdeformaciones)

E.3.3 Aceptación o rechazo del tramo de prueba

Si la mezcla no cumple con las tolerancias de la fórmula de trabajo requeridas en la Tabla 12, entonces el Contratante podrá aprobar el inicio de la obra con los ajustes a la mezcla asfáltica hechos en campo con respecto al diseño original, sólo si la combinación de materiales pétreos cumplen con los requisitos de calidad establecidos en la Tabla 1 y la Tabla 2, el material asfáltico cumple con la calidad establecida en la Tabla 3 y la Tabla 4, la mezcla asfáltica cumple con los requerimientos volumétricos especificados en la Tabla 4, el porcentaje de compactación se encuentra en un rango de 94 – 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}), y los requisitos de desempeño indicados en la Tabla 15 cumplen las especificaciones.

Si a juicio del Contratante es necesario retirar el/los tramos de prueba defectuosos que no cumplan con los requerimientos establecidos, el Contratista los retirará y reemplazará, corriendo a cargo del Contratista los costos involucrados, hasta alcanzar los requerimientos marcados en la especificación particular.

E.4 CONTROL DE CALIDAD RUTINARIO

El control de calidad rutinario incluye la frecuencia de pruebas para: (a) mantener el proceso en control, (b) determinar rápidamente cuando el proceso esté fuera de control y (c) responder adecuadamente para controlar de nuevo el proceso. El control de calidad rutinario establece los

requerimientos mínimos que el Contratista ejecutará durante el proyecto y comprende los siguientes puntos.

Nota: Todos los resultados de ensayos a reportar, indicados en esta sección, no se realizarán por duplicado.

E.4.1 Evaluación del material pétreo

Para verificar la uniformidad de la producción del material pétreo o bien realizar los ajustes pertinentes a la misma, se obtendrán muestras de acuerdo a la norma ASTM D75 “*Práctica estándar para muestreo de agregados*”, para cada fracción de material establecida. Se evaluará el agregado pétreo por cada 250 m³ de material extraído del banco. El tamaño de lote será de 250 m³ considerando un sub-lote para muestras de material pétreo tomado del banco.

Por otro lado, se evaluará el agregado en el almacenamiento de la planta de mezcla por cada 2,500 m³ utilizados en la fabricación de la muestra; considerando un lote de 2,500 m³ y un sub-lote por lote. Los ensayos a evaluar y frecuencia de los mismos se indican en la Tabla 16, siguiendo un procedimiento de muestreo de números aleatorios.

Si el proyecto requiere una cantidad inferior a 2,500 m³ de material pétreo, se considerarán dos sub-lotes para realizar la caracterización de la calidad de la fracción gruesa y fina del agregado total de acuerdo a la Tabla 1 y la Tabla 2.

Tabla 16. Frecuencia de muestreo de materiales pétreos para el control rutinario

Lote	Sub-lote	Lugar de muestreo	Tamaño de muestras parciales (kg)	Pruebas requeridas
Una muestra por cada 250 m ³ de material pétreo extraído del banco que se destinará para el proyecto particular	1	Almacenamiento en banco de material	5	Granulometría Equivalente de arena Azul de metileno
Una muestra por cada 2500 m ³ de material	1	Almacenamiento en planta de mezcla	40	Ensayos de Tablas 3 y 4

E.4.2 Evaluación del material asfáltico

A la llegada de cada auto-tanque de material asfáltico a la planta, se tomará 1 muestra de asfalto de 2 litros de acuerdo a la norma ASTM D140 “*Práctica estándar para muestreo de materiales asfálticos*”. Esta muestra se utilizará para determinar las características especificadas en la Tabla 17. En caso de que el material asfáltico no cumpla con las especificaciones mínimas establecidas en la Tabla 17, éste deberá rechazarse y regresar al proveedor. El material restante deberá ser almacenado y debidamente etiquetado para posibles verificaciones posteriores.

Tabla 17. Características de calidad para el material asfáltico a la llegada de cada auto-tanque

Característica	Norma	Especificación
Punto de inflamación Cleveland ¹ , °C	ASTM D92	230 mín
Punto de reblandecimiento ¹ , °C	M-MMP-4-05-009	PG 64: 48 mín, PG 70 a 82: 55 mín
Recuperación elástica por torsión ¹ a 25 °C, %	M-MMP-4-05-024	PG 64: N/A PG 70 a 82: 30 mín
1. Pruebas a realizar en el laboratorio de control de calidad de campo		

Aunado a lo anterior, cada 110 m³ de material asfáltico a utilizar en la producción de la mezcla, se tomará una segunda muestra de asfalto de 2 litros. Dicha muestra se enviará al laboratorio central para determinar las características de calidad especificadas en la Tabla 3 y la Tabla 4. El material asfáltico deberá cumplir con el Grado PG especificado en el proyecto, y los parámetros iniciales obtenidos en la sección E.1.2.

E.4.3 Evaluación de la mezcla asfáltica

Se muestreará la mezcla asfáltica a la salida del mezclador y caída al transportador de acuerdo a la norma ASTM D979 “*Práctica estándar para muestreo de mezclas asfálticas*”. La frecuencia del muestreo se realizará considerando un tamaño de lote de 700 m³, independientemente de los días que tarde la planta en finiquitar dicho lote. El tamaño de sub-lote será de 175 m³ (4 sub-lotes / lote). El muestreo se realizará de acuerdo a un procedimiento aleatorio. Si el tamaño de la producción del día es menor a 175 m³, se deberá tomar una muestra al final del día. El Contratista deberá llevar un registro diario de los siguientes puntos: temperatura del material asfáltico, temperatura de mezclado, volumen (m³ o ton) de mezcla producida al día. La frecuencia, tamaño de muestra, número de muestras y las características a determinar se establecen en la Tabla 18.

Tabla 18. Frecuencia, número y tamaño de muestra de la mezcla asfáltica

Frecuencia	Características a determinar	Tamaño de muestra requerido	Sub-lotes
Cada lote	- Gravedad específica teórica máxima (G_{mm}) - Contenido de asfalto (CA) - Granulometría	5 kg	4
Cada 5 lotes	- Susceptibilidad al daño por humedad y tensión indirecta (TSR) - Susceptibilidad a la deformación permanente con la Rueda Cargada de Hamburgo	40 kg	1

E.4.4 Tendido y compactación

El Contratista llevará un registro diario de los siguientes puntos durante la producción de mezcla asfáltica: número de camiones de mezcla aplicados, volumen de mezcla (m^3 o ton) por camión, temperatura de tendido, temperaturas de inicio y finalización de compactación. La mezcla tendida y compactada cumplirá con un rango de 94% - 98% de la gravedad específica teórica máxima (G_{mm}).

La frecuencia, número de extracciones (núcleos) y métodos de ensayo a realizar en el tramo se especifica en la Tabla 19. El muestreo será determinado utilizando un procedimiento de muestreo de números aleatorios.

Si en el proyecto, la longitud de la vía es menor a las frecuencias establecidas en la Tabla 19, se determinarán al menos una vez cada una de las pruebas, excepto el porcentaje de gravedad específica teórica máxima (G_{mm}), en cuyo caso sí se realizarán al menos 5 mediciones en sentido longitudinal.

Tabla 19. Frecuencia, características y número de mediciones requeridas para un tramo aplicado

Frecuencia	Características a determinar	Método / Tamaño de muestra	Sub-lotes
Cada 50m en 5 puntos transversales al eje	- Porcentaje de compactación respecto a gravedad específica teórica máxima (G_{mm})	No destructivo con densímetro electromagnético o nuclear	N/A
Cada dos kilómetros / carril	- Gravedad específica bruta (G_{mb}) y vacíos de aire (V_a) - Susceptibilidad a la deformación permanente con la Rueda Cargada de Hamburgo - Contenido de asfalto - Granulometría	1 núcleo de 25.4 cm (10 pulgadas)	1
Cada diez kilómetros / carril	- Gravedad específica bruta (G_{mb}) - Susceptibilidad al daño por humedad y tensión indirecta (TSR)	6 núcleos de 10 cm (4 pulgadas)	1
Cada dos kilómetros / carril	- Módulo dinámico	1 núcleos de 10.1 cm de diámetro y 15 cm alto	1
Cada dos kilómetros / carril	- Resistencia a la fatiga	2 vigas de 50x63x380cm	1

E.4.5 Verificación

La verificación o supervisión de calidad del material pétreo, material asfáltico, mezcla asfáltica y densificación, se realizará al menos en el 10% de la frecuencia requerida en este documento de control de calidad o su fracción. Si el 10% de la frecuencia requerida es menor a dos muestras, se tomarán al menos dos muestras del proyecto completo para la evaluación de las características de: material pétreo, material asfáltico, mezcla asfáltica, y extracciones del tramo tendido y compactado.

E.4.6 Análisis estadístico de control de calidad

Todas las inspecciones y resultados de prueba serán registrados en los formatos correspondientes y la información estará disponible siempre que un representante del Contratante lo solicite.

Los resultados de las mediciones de campo o pruebas de laboratorio que se realicen a muestras seleccionadas al azar con un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, se analizarán, mediante cartas de control y otros métodos estadísticos de acuerdo con el Manual M-CAL-1-03 “Análisis Estadístico de Control de Calidad” para verificar la conformidad con los requisitos de calidad establecidos en el proyecto, detectar las deficiencias y desviaciones significativas en los procesos de construcción y aplicar de forma oportuna y económica las medidas correctivas que sean necesarias.