



**TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE COACALCO**

**“DISEÑO DE MEZCLA DE ASFALTO EN
FRIO”**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PARA LA OBTENCIÓN DEL

TÍTULO DE:

INGENIERÍA CIVIL

SUSTENTANTE

JULIO LORENZO DOMINGUEZ DE LA LUZ

PRESIDENTE

M. EN G. E. GRETTEL PATRICIA FLORES

STREICHER

COACALCO DE BERRIOZÁBAL, MÉX. JUNIO, 2024

Contenido

1.	Generalidades del Proyecto	7
	Introducción	7
	Justificación	7
	Planteamiento del problema	7
	Antecedentes	7
	Objetivos.....	8
	General	8
	Específico	8
	Alcances y limitaciones	9
	Limitaciones	10
2.	Marco Teórico	10
	Definición y clasificación	10
	Carpetas de mezcla asfáltica	11
	Carpetas de mortero asfáltico	11
	Materiales	11
	Aditivos	12
	Caucho	12
	Emulsiones	12
	Emulsiones aniónicas.....	12
	Emulsiones catiónicas	13

Hule	13
Negro de carbón.....	13
Silicones	14
Fibras.....	14
EVA, SBR Y SBS	14
Asfalto.....	14
Cementos asfálticos grado pg	15
3. Desarrollo.....	15
Investigación de emulsiones.....	15
ITERCHIMICA	16
Procedimiento	18
Procedimiento de los materiales:.....	18
Peso volumétrico	19
Granulometría (ASTM C136-14).....	20
Forma de la partícula (ASTM D4791-10).....	21
Desgaste micro-deval (ASTM D6928-10).....	22
Desgaste de los ángeles (ASTM C131-14)	23
Densidad y absorción de agregado grueso (ASTM C127-15).	24
Equivalente de arena (ASTM D2419-14).....	25
Densidad y absorción del agregado fino (ASTM C128-15).....	27
Diseño de la mezcla asfáltica	29

Procedimiento	29
Pruebas en bacheo	36
Resultados.....	38
Conclusiones	38
Recomendaciones	39
Experiencia adquirida.....	39
Competencias desarrolladas	39
Fuentes de Información	40

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Sustancias.....	13
Ilustración 2 Clasificación de los materiales.	18
Ilustración 3 Secado de material	18
Ilustración 4 Cuarteo.....	19
Ilustración 5 Llenado de tara	19
Ilustración 6 Pesado de tara.....	19
Ilustración 7 Cribado	20
Ilustración 9 Desgaste microdeval.....	23
Ilustración 8 Contenedor de material	23
Ilustración 11 Carga abrasiva	23
Ilustración 10 Desgaste de los ángeles.....	23
Ilustración 12 Masa seca.....	25
Ilustración 13 Masa saturada.	25
Ilustración 14 Probetas	26

Ilustración 15 Lectura de arena.	26
Ilustración 16 Lectura de arcilla.	26
Ilustración 17 Picnómetro con material y agua.	27
Ilustración 18 INTERLOWT agregado.	30
Ilustración 19 Pesado de INTERLOWT.	30
Ilustración 20 Materiales homogenizados.	30
Ilustración 21 Mezcla de materiales.	30
Ilustración 22 Asfalto.	30
Ilustración 23 agregados.	30
Ilustración 24 Pastilla en intemperie.	30
Ilustración 25 Elaboración de pastillas.	30
Ilustración 26 Homogenización.	30
Ilustración 27 Pastillas deshechas en intemperie.	31
Ilustración 28 Sección abierta para rellenar.	36
Ilustración 29 Monitoreo de bache.	37
Ilustración 31 Retiro de exceso de mezcla asfáltica.	37
Ilustración 30 compactación de mezcla asfáltica en frío.	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ajustes del grado GP.	15
Tabla 2 Clasificación de materiales.	18
Tabla 3 Juego de mallas para grava.	20
Tabla 4 Juego de mallas para arena.	20
Tabla 5 Grava triturada de 3/4".	21
Tabla 6 Arena triturada de 1/4".	21
Tabla 7 Forma de la partícula.	22

Tabla 8 Desgaste microdeval.	22
Tabla 9 Desgaste de los angeles.	23
Tabla 10 Densidades relativas.	24
Tabla 11 Equivalente de arena.....	26
Tabla 12 Densidades relativas agregado fino.....	28
Tabla 13 Absorción agregado fino.	28
Tabla 14 Diseño de mezcla asfáltica.....	29
Tabla 15 Muestra 1.	31
Tabla 16 Resultados finales muestra 1.	31
Tabla 17 Muestra 2.	32
Tabla 18 Resultados finales muestra 2.	32
Tabla 19 Muestra 3.	33
Tabla 20 Resultados finales muestra 3.	33
Tabla 21 Muestra 4.	34
Tabla 22 Resultados finales muestra 4.	34
Tabla 23 Muestra 5.	35
Tabla 24 Resultados finales muestra 5.	35
Tabla 25 Resumen de muestras	36

1. Generalidades del Proyecto

Introducción

En el presente trabajo se describen los pasos para elaborar una mezcla asfáltica en frío de acuerdo con la calidad que se requiere basados en la normatividad actual de la SICT, así mismo se realizaron las pruebas pertinentes para probar su desempeño en vías primarias.

Justificación

La importancia de esta investigación radica en la creación una mezcla asfáltica en frío adecuada tanto a nivel industrial como personal, haciendo un producto económico, fácil de transportar, aplicación y buen desempeño.

Así mismo es un producto amigable con el ambiente ya que no produce las mismas emisiones que asfalto tradicional.

Planteamiento del problema

La mezcla en frío sólo se puede utilizar en caminos secundarios o bacheos por no ser una mezcla estable, cuando la temperatura empieza a subir tiende a presentar deformaciones, desprendimientos o pérdida de agregados (disgregación) por lo que la mezcla es inestable y no es recomendable utilizarla en vías primarias.

Las limitaciones al usar mezclas asfálticas en este caso en frío pueden ser la resistencia a la fatiga, comportamiento y tiempo de curado.

Antecedentes

Las mezclas asfálticas en frío (MAF) están compuestas por agregados minerales y un agente bituminoso como son las emulsiones o los asfaltos cortados, siendo más tradicional el uso de emulsiones en el último tiempo.

Se pueden identificar aspectos que favorecen el uso de emulsiones asfálticas (Fernández, 1983). Si bien las emulsiones tienen ciertas restricciones climáticas para su correcto uso, es posible adaptarlas para poder ampliar su aplicación a condiciones no tradicionales logrando una versatilidad en su empleo. Por otro lado, se produce un ahorro energético importante en comparación con el uso de asfaltos cortados y en comparación con mezclas asfálticas en caliente donde son necesarios procesos de calentamiento para los agregados y para el cemento asfáltico. Dentro del ámbito ecológico las emulsiones asfálticas juegan un papel importante junto al asfalto espumado en el reciclado de pavimentos asfálticos en frío, técnica muy considerada hoy en día por su capacidad de ahorro de energía (Thenoux et al., 2006).

Las MAF se pueden fabricar en plantas de producción o en terreno. Las plantas de producción permiten controlar los procesos de producción como el abastecimiento de materiales y el mezclado. Las mezclas en terreno son producidas por plantas móviles, moto-niveladora o equipos especiales de mezclado en terreno, por lo tanto, se dificulta el control de los procesos.

Según el Asphalt Institute se pueden identificar tres tipos de MAF con emulsiones: mezclas cerradas o densas, abiertas y de arena. Las mezclas cerradas pueden ser usadas en cualquier tipo de pavimento y permiten el uso de variados tipos de desprendimiento de material, por estas razones su comportamiento puede compararse con una mezcla asfáltica en caliente.

Objetivos

General

Diseñar la mezcla asfáltica en frío que sea estable, confiable y eficaz en su almacenamiento y aplicación.

Específico

Realizar pruebas con agregados finos y gruesos buscando el que mejor se adapte a las necesidades de la mezcla.

Realizar pruebas con emulsiones que cumplen con las mejores especificaciones realizando la mezcla en frío para calificar su manejabilidad.

Crear pastillas de mezcla asfáltica para exponerlas a la temperatura ambiente para ver su comportamiento a la exposición a los diferentes estados climáticos.

Realizar un bache en donde exista tránsito diario para la determinación del comportamiento de la mezcla asfáltica en un uso cotidiano.

Alcances y limitaciones

Dentro de las principales ventajas que tiene el uso de MAF (Mezcla Asfáltica en Frío), se encuentran:

Versatilidad: En la actualidad, con la tecnología existente es posible formular una amplia variedad de tipos de emulsiones asfálticas que permiten su uso con diversos tipos de agregados pétreos, de distinto origen, además de permitir el trabajo con condiciones climáticas consideradas desfavorables.

Economía: Es posible alcanzar altos rendimientos de producción sin realizar mayores inversiones en equipamiento. Además, se pueden utilizar agregados pétreos de la zona producto de la versatilidad de las emulsiones. Por otra parte, para la construcción con MAF no es necesario equipos especiales, se utilizan los mismos que en la pavimentación tradicional con mezclas asfálticas en caliente, su aplicación resulta simple y económica.

Ecológico: Se produce una baja emisión de polvo en la preparación de MAF y un bajo consumo energético pues no es necesario calentar los agregados para la preparación de la mezcla. Si se usan emulsiones asfálticas no se emiten gases ni malos olores, como ocurre con los asfaltos cortados o la manipulación de cemento asfáltico.

Bajo el mismo alero de la ecología es importante destacar la importancia utilización de MAF con emulsiones en el reciclado de pavimentos asfálticos en frío, tecnología que permite optimizar el uso de recursos evitando escasez de estos con miras al futuro.

Limitaciones

Clima: La construcción con MAF no debe efectuarse con temperaturas ambientales menores a los 10° C. Bajas temperaturas de los agregados dificultan un correcto mezclado.

Humedad: Es necesario que los agregados tengan cierto contenido de humedad para lograr un mezclado y una compactación adecuados. Una falta o exceso en el contenido de humedad puede causar inconvenientes en el mezclado, compactación y curado de la mezcla.

Aplicación: Las MAF pueden ser utilizadas como carpetas superficiales, bases o subbases en la estructura de un pavimento. Como carpeta de rodado se puede utilizar en pavimentos con tráfico medios o livianos, pero con graduación abierta. Como base o subbase puede utilizarse con cualquier tipo de tránsito.

Control de calidad: Es posible obtener buenos pavimentos con MAF fabricadas en terreno, pero es necesario realizar un exhaustivo control para asegurar una homogeneidad de la mezcla. El control en terreno resulta más difícil en comparación con plantas establecidas.

2. Marco Teórico

Este trabajo se basa en las normas de la SICT en el documento **N-CTR-CAR-1-04-007/00** ([Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes: Normativa \(sct.gob.mx\)](#)) en el que se detallan las definiciones y procedimientos para la creación de la mezcla:

Definición y clasificación

Las carpetas asfálticas con mezclas en frío, son aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos y un material asfáltico, modificado

o no, que puede ser rebajado con solventes o emulsión. Según su función y su composición granulométrica, las carpetas asfálticas con mezcla en frío pueden ser:

Carpetas de mezcla asfáltica

Las carpetas de mezcla asfáltica se construyen para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Cuando son de un espesor mayor o igual que 4 cm, tiene además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento. Están constituidas por una mezcla en frío de materiales pétreos, generalmente de granulometría densa y un producto asfáltico, que puede ser una emulsión o un rebajado.

Carpetas de mortero asfáltico

Las carpetas de mortero asfáltico no tienen función estructural y se constituyen para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Están constituidas por una mezcla en frío de materiales pétreos de granulometría fina y emulsión asfáltica o un asfalto rebajado.

Materiales

Los materiales que se utilicen en la construcción de carpetas asfálticas con mezcla en frío, cumplirán con lo establecido en las normas **N-CMT-4-04**, Materiales pétreos para carpetas y mezclas asfálticas, **N-CMT-4-05-001**, calidad de materiales asfálticos, **N-CMT-4-05-002**, Calidad de materiales asfálticos modificados y **N-CMT-4-05-003**, Calidad de mezclas asfálticas para carreteras, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la secretaria. Los materiales pétreos procederán de los bancos indicados en el proyecto o aprobados por la secretaria.

Aditivos

Una de las alternativas constructivas que se presentan hoy en día es la fabricación de aditivos que permiten elaborar emulsiones de rompimiento controlado, asfaltos dotados de baja susceptibilidad térmica y elevada cohesión cuyas condiciones son necesarias para resistir altos volúmenes de tránsito.

Caucho

Es utilizado en la construcción de carreteras, adicionándolo en cantidades relativamente pequeñas en las mezclas asfálticas para pavimento.

Emulsiones

Las emulsiones asfálticas constituyen otro de los procedimientos que se usan para fluidificar el cemento asfáltico y hacer aplicaciones en frío. Son emulsiones generalmente del tipo de aceite en agua, en que la fase dispersa o interna es el asfalto, en forma de pequeños glóbulos, y la fase continua o externa es el agua.

Emulsiones aniónicas

Inicialmente se utilizaron emulsiones aniónicas superestables y posteriormente las catiónicas, poseen partículas que se dirigen en el ensayo de electroforesis hacia el ánodo (polo positivo).

Estas emulsiones se encuentran cargadas negativamente, presentan buena afinidad y resistencia al desplazamiento frente a los áridos calizos, con un mal comportamiento respecto a los silíceos, las partículas del betún poseen carga negativa, de ahí la repulsión natural con estos últimos agregados. El tipo de árido y los factores climáticos definen fundamentalmente la naturaleza y el tipo de emulsión a utilizar.

Emulsiones catiónicas

Actualmente se producen emulsiones catiónicas de rompimiento controlado fabricadas con asfalto puro o modificadas con polímeros, poseen partículas que se dirigen en el ensayo de electroforesis hacia el cátodo (polo negativo). Estas emulsiones se encuentran cargadas positivamente, su rotura ocurre de la inmediata atracción química de las micelas ionizadas del betún cargado positivamente con la superficie que se desee tratar que también está ionizada.

Hule

Entre los materiales incorporados al asfalto que le imparten mejores características de resistencia, flexibilidad y adhesividad, existen compuestos tales como negro de carbón, hule, silicones y fillers.

Negro de carbón

Es un polvo fino derivado de la combustión, como el hollín producido por el humo de las velas y lámparas de kerosina o el de chimeneas.

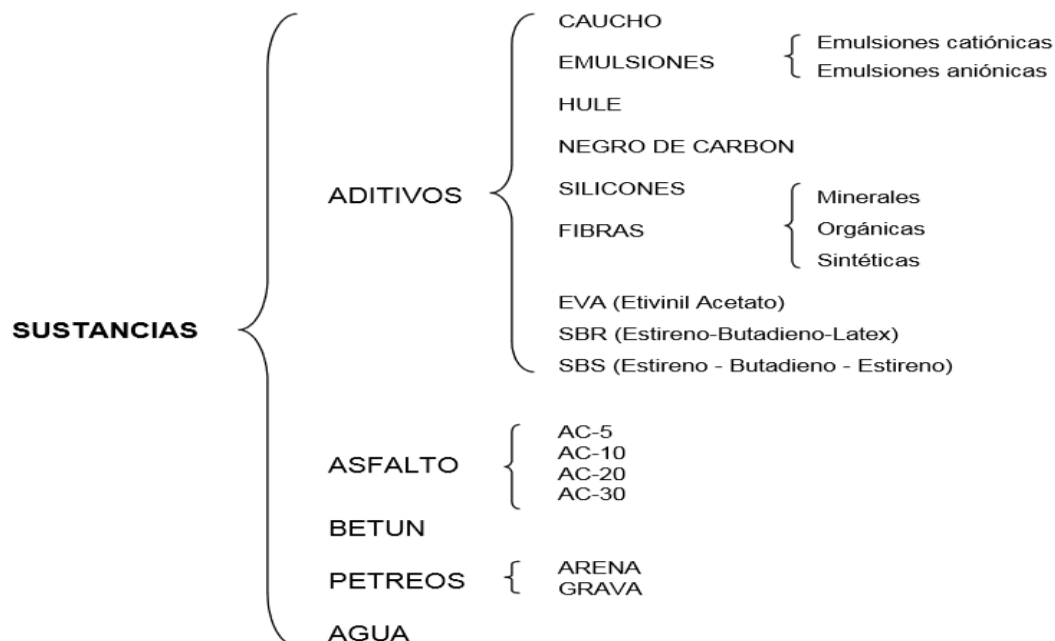


Ilustración 1: Sustancias

Silicones

La adición de pequeñas cantidades (1 a 2 ppm) de cierto tipo de silicones al cemento asfáltico, se ha encontrado que mejora de manera importante la facilidad de manejo y la colocación de capas de pavimentos asfálticos de mezclas en caliente, así como la uniformidad de la textura superficial.

Fibras

La adición de fibras ha jugado un papel muy importante en la modificación de las propiedades mecánicas de las mezclas. Dentro del amplio mundo de las fibras existen muchos tipos con características morfológicas y mecánicas diferentes que en función de su origen químico se pueden clasificar en tres grupos principales:

- Fibras Minerales
- Fibras Orgánicas
- Fibras Sintéticas.

EVA, SBR Y SBS

Actualmente los cementos asfálticos son modificados con elastómeros, SBR y SBS, así como los cementos asfálticos con plastómeros (EVA), los nombres completos para estos compuestos son los siguientes: Acetato de Etil-vinilo (EVA), Estireno-Butadieno Latex (SBR) y Estireno-Butadieno-Estireno (SBS).

Asfalto

Los materiales asfálticos son materiales bituminosos con propiedades aglutinantes, sólidos, semisólidos o líquidos, que se utilizan en estabilizaciones, en riegos de impregnación, de liga y de sello, en construcción de carpetas y en elaboración de mezclas y morteros, usados en pavimentación.

Cementos asfálticos grado pg

Son aquellos cuyo comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación, dentro de las cuales se asegura un desempeño (performance) adecuado para resistir deformaciones o agrietamientos por temperaturas bajas o por fatiga, en condiciones

de trabajo que se han correlacionado con ensayos especiales y simulaciones de envejecimiento a corto y a largo plazo. Estos ensayos miden propiedades físicas que pueden ser directamente relacionadas, mediante principios de ingeniería, con el comportamiento en obra, y forman parte de los

productos del Programa de Investigación de Carreteras desarrollado por la Unión Americana, conocida como la Tecnología SHRP.

N-CMT-4-05-004/05

TABLA 1.- Ajustes del Grado PG seleccionado por clima de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada y con la velocidad de operación

Intensidad del tránsito (ΣL_{10}) ^[1]	Grado PG seleccionado por clima	Ajuste por intensidad del tránsito	Ajuste por velocidad lenta (Entre 10 y 30 km/h)	Ajuste por tránsito detenido (Cruceiros)
$\Sigma L_{10} < 10^6$	PG 64	PG 64	PG 70	PG 76
	PG 70	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 76	PG 76	PG 82	PG 88
$10^6 \leq \Sigma L_{10} \leq 10^7$	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 70	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 76	PG 82	PG 88	PG 88
$\Sigma L_{10} > 10^7$	PG 64	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 70	PG 82	PG 88	PG 88
	PG 76	PG 88	PG 88	PG 88

[1] ΣL_{10} = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante un periodo de servicio del pavimento de 10 años.

Tabla 1 Ajustes del grado GP

3. Desarrollo

Investigación de emulsiones

Para elaborar la mezcla de asfalto en frio fue necesario realizar una investigación en cuanto a las emulsiones en el mercado, varias empresas en la industria se contactaron para recibir recomendaciones acerca de sus productos, pero solo se utilizaron las siguientes:

- **LEMA S.A. de C.V.**

Cuenta con cuatro productos que cumple con lo requerido para la elaboración de la mezcla.

- E1 CSS (1.2% Redicote E-11)
- E2 CMS (1.0% Redicote EM76)
- E3 CSS (1.2% Redicote E-4868)
- E4 CSS (2.0% Redicote E-7000)

La recomendación de las cantidades a utilizar por parte de esta empresa fue la siguiente:

- Asfalto: 60-65%
- Emulsificante: 12-1.5%
- Ph de solución: 2.5%
- Agua: completar el 100%

ITERCHIMICA

El producto recomendado por **ITERCHIMICA** es el **ITERLENE IN/200-SPECIAL**, las especificaciones del aditivo son las siguientes:

1. Aplicación:

ITERLENE IN/200 es un plastificante estudiado para la producción de mezclas asfálticas frías para el mantenimiento vial y se compone de sustancias totalmente libres de alquitrán.

El producto garantiza la realización de mezclas bituminosas frías perfectamente plásticas y trabajables al granel (en cumulo) o en bolsas.

ITERLENE 1N/200-SPECIAL se añade directamente a la mezcladora de la planta a través de una bomba dosificadora o de forma manual a través de la ventana del mezclador.

2. Dosificación:

La dosificación de varia de 20% a 35% del peso del betún, en función del tipo de betún, de la plasticidad a obtener y de la curva granulométrica utilizada. Estos parámetros están condicionados por el periodo estacional de utilización y de producción.

3. Composición:

Mezcla de esteres y oxo-alcoholes.

4. Propiedades físicas:

Aspecto:	liquido
Color:	de amarillo a marrón
Densidad a 20°C:	$0.83 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$
Viscosidad Brookfield a 20°C	$25 \pm 5 \text{ cp}$
Punto de inflamación	$\geq 90^\circ\text{C}$
Punto de escurrimiento	$\leq 0^\circ\text{C}$

5. Almacenamiento:

En ambientes protegidos de la intemperie y lejos de fuentes de calor.

6. Presentación:

En tambores de 180 kg o tanques de 900 kg.

Procedimiento

1.-Se realizan diversas pruebas para determinar la calidad de los materiales como son:

- Granulometría (para finos y gruesos)
- Densidad y absorción (finos y gruesos)
- Peso volumétrico (finos y gruesos)
- Desgaste de los ángeles
- Desgaste micro-deval
- Forma de la partícula
- Azul de metileno
- Equivalente de arena

Los materiales que se emplean son grava (gruesos) y arena (finos), después de determinar la calidad de los materiales se clasifican por tamaños por medio del cribado de la siguiente forma:

2.-Teniendo clasificados los materiales se puede disponer de cada tamaño en las proporciones que se necesiten.



Ilustración 2 Clasificación de los materiales.

MALLA	ABERTURA (mm)	AGREGADO
¾"	19.00	GRAVA
½"	12.50	GRAVA
3/8"	9.50	GRAVA
1/4"	6.30	GRAVA
4"	4.75	GRAVA
10"	2.00	ARENA
20"	0.85	ARENA
40"	0.425	ARENA
60"	0.25	ARENA
100"	0.15	ARENA
200"	0.075	ARENA

Tabla 2 Clasificación de materiales

Procedimiento de los materiales:

Se extiende el material para el secado por sol, o se puede secar al horno hasta eliminar la humedad por completo.



Ilustración 3 Secado de material

Una vez seco, se extiende el material en una superficie limpia (para que no se contamine), se forma un cono para después con movimientos circulares extender el cono para poder partir en cuatro partes iguales, se toman dos partes opuestas para que sea lo más representativo posible.



Ilustración 4 Cuarteo

Peso volumétrico

1.-Se toman dos partes opuestas del cuarteo (área o grava), con un cucharón se llena la tara, se hace por medio de caída libre a una altura de 30cm.



Ilustración 5 Llenado de tara

2.-una vez llena la tara se enrasa.

3.-llena y enrasado, se pesa el molde.

Cálculos:

Peso bruto=17811.5 gr.

Peso tara=4980.0 gr.

Peso neto=12831.5 gr. $\longrightarrow$ (peso bruto – peso molde)

Volumen tara=9967.0 cm³

Peso vol.=1287.3 kg/cm³ $\longrightarrow$ $\left(\frac{\text{peso neto}}{\text{volumen molde}} \times 1000 \right)$



Ilustración 6 Pesado de tara

Para la arena es el mismo procedimiento y cálculos, lo único que cambia es el tamaño del molde ya que para la arena es más pequeña.

Granulometría (ASTM C136-14)

Se realiza el cuarteo mecánico para posteriormente utilizar las dos partes opuestas, dependiendo de si son finos o gruesos se utilizan las siguientes designaciones de mallas:



Ilustración 7 Cribado

Tabla 3 Juego de mallas para grava.

Juego de mallas para grava	
Designación	Abertura mm
2"	50
1 ½"	37.5
1 ¼"	31.5
1"	25
¾"	19
½"	12.5
3/8"	9.5
¼"	6.3
N°4	4.75

Juego de mallas para arena	
Designación	Abertura mm
N°10	2
N°20	0.85
N°40	0.425
N°60	0.25
N°100	0.15
N°200	0.075

Tabla 4 Juego de mallas para arena.

Se criba el material dependiendo del tamaño máximo del agregado (grava), se realizan las granulometrías correspondientes (arena y grava) se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 5 Grava triturada de 3/4".

Grava triturada de 3/4"				
Mallas pulg.	Abertura mm	Masa retenida gr.	Retención parcial %	% que pasa
3/4"	19	0.0	0.0	100
1/2"	12.5	501.3	32.3	68
3/8"	9.5	640.1	41.3	27
1/4"	6.3	371.7	23.9	3
N°4	4.75	28.8	1.9	1
Fondo	-----	9.4	0.6	0
Suma	-----.	1551.3	100	/

Tabla 6 Arena triturada de 1/4".

Arena triturada de 1/4"				
Mallas pulg.	Abertura mm	Masa retenida gr.	Retención parcial %	% que pasa
1/4"	6.3	0.0	0.0	100
N°4	4.75	319.9	4.2	96
Fondo	-----	7408.9	95.8	/
Suma	-----	7728.8	100	/
Granulometría en material menor a 4.76 mm				
N°10	2	1075.1	64.2	32
N°20	0.85	243.1	14.5	17
N°40	0.425	86.2	5.1	12
N°60	0.25	37.8	2.3	10
N°100	0.15	26.5	1.6	8
N°200	0.075	33.1	2.0	6
Fondo	-----	102.9	6.1	0
Suma	-----.	1604.7	96	/

Nota: el material que pasa la malla N°4 se lava, se cuarteo y se utiliza

Forma de la partícula (ASTM D4791-10)

Este procedimiento es para determinar las partículas planas y alargadas en agregados gruesos, utilizando la relación 5:1.

Dependiendo del tamaño nominal del agregado (es la primera malla que retiene más del 10% de las partículas del agregado), se determina la masa mínima de ensayo, en este caso se utilizan 2kg mínimo, primero se reduce la muestra por cuarteo, se pasan las partículas por el

calibrador de espesores, se pesan las masas obtenidas y finalmente se calculan de acuerdo con la siguiente tabla:

Masa inicial =2028.4

Se usará el método B.

A	B	C	D	E	F	G
Malla (mm)	Retenido parcial (%)	Masa (g)	Masas individuales (g)		(%) planas y alargadas	
			Planas y alargadas	Ni planas, ni alargadas	$((D/C)*100)$	$(F*B)$
½	17.8	361.8	148.3	213.5	40.9	728.0
3/8	35.9	728.2	245.8	482.4	33.7	1209.8
¼	30.7	622.2	240.0	838.6	38.6	1185.0
Total	84.4				Total	3122.8

Tabla 7 Forma de la partícula.

Desgaste micro-deval (ASTM D6928-10)

Con esta prueba se puede determinar la resistencia a la abrasión y durabilidad del agregado mineral, existen tres tipos de prueba, lo que determina cual se debe usar es el tamaño nominal, para este material se utiliza la de granulometría 1 TN ¾", en la que se utilizan 750gr. de 3/8", 375gr. de ½", 375gr. de 5/8", 2 lts. De agua y 5000gr de balines (carga abrasiva).

Se criba y lava la muestra, se pesan las cantidades de cada tamaño que juntas deben sumar 1500gr, se vacía en el contenedor, se vierte el agua y balines, se deja reposar por una hora, debe de taparse, colocarlo en la máquina, ajustar el tiempo (para esta prueba son 120 min), al término del tiempo, lavar y cribar por la malla N° 16, secar al horno la masa retenida y calcular.

Tamaño de agregado (mm)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	% de desgaste
16.0mm a 9.5mm	1501.2	1501.2	5.06

Tabla 8 Desgaste microdeval.



Ilustración 9 Contenedor de material



Ilustración 8 Desgaste microdeval

Desgaste de los ángeles (ASTM C131-14)

Este método sirve para determinar la degradación de los agregados, existen cuatro tipos de pruebas (A, B, C y D), para saber cuál usar se debe determinar el tamaño nominal.

Para este ensaye se utiliza el tipo B, se criban y lavan 2500gr de 1/2" y 2500gr de 3/8", secar al horno, colocar la muestra y 11 esferas en la máquina de desgaste de los ángeles, la maquina debe de programarse para girar de 30 a 33 rpm, hasta las 500 revoluciones, al termino sacar el material, lavar y cribar por la malla N°12, secar, pesar y determinar la masa.



Ilustración 11 Desgaste de los ángeles.



Ilustración 10 Carga abrasiva.

Tamaño de agregado (mm)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	% desgaste
16.0mm a 9.5mm	5000.4	4291.2	14.18

Tabla 9 Desgaste de los angeles.

Densidad y absorción de agregado grueso (ASTM C127-15).

De acuerdo con el tamaño nominal de la muestra (TM ½”), se utilizan 2kg (mínimo) para realizar el ensaye, cribar por la malla N°4 y desechar el material que pase, usar el retenido, dejar saturando el material 24 ± 4 horas, transcurrido el tiempo se determina lo siguiente:

SSS=se retira el material del agua, se seca con un trapo húmedo (solo se retira la película de agua superior), y se pesa al aire, anotar el resultado.

SM=se pesa el material (canastilla) sumergido en agua, debe de cubrir el agua totalmente el material, el agua debe estar a 23 ± 2 °C, anotar el resultado.

SH=secar a masa constante a temperatura 110 ± 5°C, dejar enfriar la muestra hasta que pueda ser manejable, pesar y anotar el resultado.

Una vez obtenidos los pesos se procede a utilizar las siguientes formulas:

$$\text{Densidad relativa(SH)} = \frac{SH}{SSS-SM} \quad \text{Densidad relativa(SSS)} = \frac{SSS}{SSS-SM}$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{SH}{SH-SM} \quad \text{Absorción} = \frac{SSS-SH}{SH} \times 100$$

Los resultados fueron los siguientes:

DENSIDADES RELATIVAS			
Ensaye No.	1	2	Promedio
Masa de la muestra secada al horno, g.	3270.7	2974.7	
Masa de la muestra saturada superficialmente seca, g	3332.8	3047.4	
Masa aparente en agua de la muestra saturada, g.	2042.1	1902.8	
Densidad relativa seca al horno (SH)	2.534	2.599	2.566
Densidad relativa saturada y superficialmente seca (SSS)	2.582	2.662	2.662
Densidad relativa aparente	2.662	2.775	2.718
% Absorción	1.90	2.44	2.17

Tabla 10 Densidades relativas.



Ilustración 13 Masa saturada.



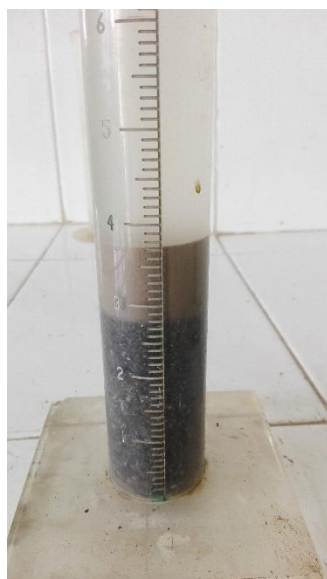
Ilustración 12 Masa seca.

Equivalente de arena (ASTM D2419-14)

Para realizar este ensaye se debe de pesar mínimo 1500g de arena previamente cribada por la malla No. 4, se humedece el material para evitar perdida de finos, se hace un cono con la espátula, se toma una muestra presionando con el medidor metálico por un lado del cono y con la mano en el otro, llenar una probeta de plástico con 4 ml solución, se vacía el material en la probeta con ayuda de un embudo, se agita la probeta a mano para sacar las burbujas y se deja reposar por 10min, pasados los diez minutos se mete la probeta al agitador mecánico durante 45 seg. limpiar con la solución, llenar la probeta y dejar reposar por 20min., al terminar el tiempo se revisa la altura que alcanza la arcilla, se registra y finalmente se introduce una pesa para medir la arena, se registra, obteniendo estos resultados:

No. Probeta	1er ciclo de reposo		2do ciclo de reposo		Lecturas		% E.A.
	Hora inicial	Hora final	Hora inicial	Hora final	Arena	Arcilla	
1	12:36	12:46	12:48	13:08	2.8	3.7	76%
2	12:40	12:50	12:53	13:13	2.6	3.4	75%
3	12:45	12:55	12:58	13:18	2.7	3.6	75%
	Promedio:						76%

Tabla 11 Equivalente de arena.



*Ilustración 16
Lectura de arcilla.*



*Ilustración 15 Lectura
de arena.*



*Ilustración 14
Probetas.*

Densidad y absorción del agregado fino (ASTM C128-15)

Se utiliza aproximadamente 1kg de arena que pase la malla No. 4, se satura con agua la muestra y se deja reposando 24 ± 4 horas, cumplido el lapso de tiempo, se determina si alcanza la condición mediante un molde cónico, se vacía una porción en el cono el cual se sostiene firmemente, se llena hasta el borde y se compacta con 25 golpes del pisón el cual debe dejarse caer de una altura de 5 mm, se retira la arena que cayo alrededor y se saca el cono verticalmente, si hay una ligera caída del agregado se ha alcanzado la condición SSS.

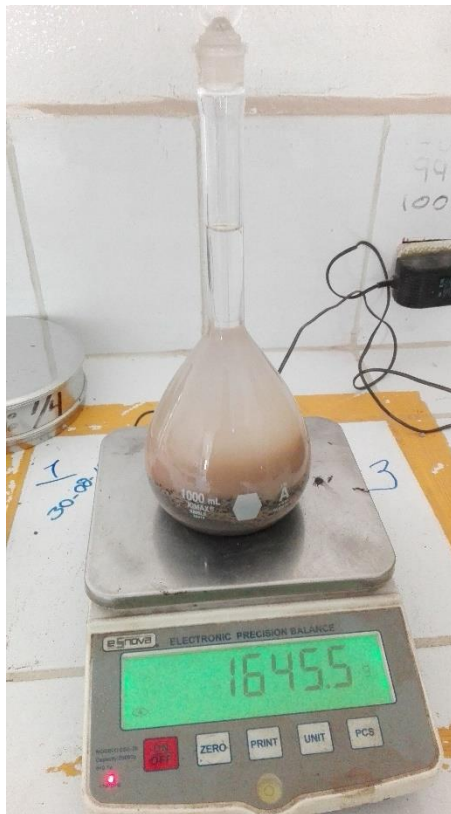


Ilustración 17 Picnómetro con material y agua.

Se llena el picnómetro hasta el aforo y se pesa, con la ayuda de un embudo se vacían 500 gr de material al picnómetro con la mitad de agua, se agita manualmente de 15 a 20 min para eliminar las burbujas de aire, llenar el picnómetro hasta el aforo y dejar reposar, pesar y registrar lectura, retirar el material del picnómetro (vaciar en una charola) y secar al horno, una vez seco pesar y registrar.

Para calcular densidades y absorción se utilizan estas fórmulas:

$$\text{Densidad relativa(SH)} = \frac{SH}{SSS-SM} \quad \text{Densidad relativa(SSS)} = \frac{SSS}{SSS-SM}$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{SH}{SH-SM} \quad \text{Absorción} = \frac{SSS-SH}{SH} \times 100$$

DENSIDADES RELATIVAS			
Ensayo No.	1	2	Promedio
Masa de la muestra ensayada secada al horno, g.	479.3	482.1	
Masa del matraz + agua, g.	1338.3	1335.8	
Masa del matraz + agua + muestra, g.	1640.0	1648.2	
Masa del material saturado y superficialmente seco, g.	500.0	500.0	
Densidad relativa seca al horno (SH)	2.417	2.570	2.493
Densidad relativa saturada y superficialmente seca (SSS).	2.521	2.665	2.593
Densidad relativa aparente.	2.699	2.841	2.770

Tabla 12 Densidades relativas agregado fino.

Nota: Utilizar hasta tres cifras decimales.

ABSORCION			
Ensayo No.	1	2	Promedio
Masa de tara, g.	518.5	521.4	
Masa de tara + material saturado y superficialmente seco, g.	1018.5	1021.4	
Masa del material saturado y superficialmente seco (B), g.	500.0	500.0	
Masa de tara + material seco, g.	997.8	1003.5	
Masa de material seco, g.	479.3	482.1	
% Absorción	4.317	3.713	4.015

Tabla 13 Absorción agregado fino.

Una vez que se determinó que la calidad de los materiales es apta para hacer un diseño se procede a realizarlo.

Diseño de la mezcla asfáltica

Para hacer el diseño se utiliza la recomendación del proveedor de la emulsión, que es la siguiente:

Material	TMA	Cantidad en %
Grava	3/8"	80%
Arena	3/8"	20%
Asfalto		4.2%
ITERLOW T		20% (de asfalto)

Tabla 14 Diseño de mezcla asfáltica.

Procedimiento

1.-Lo primero es muestrear el material indicado para realizar la mezcla (grava de 3/8" y arena de 3/8").

2.-pesar las cantidades especificadas para la prueba (el material debe de estar previamente seco). (1)

3.- calentar el asfalto hasta que se pueda mezclar con el material.

4.-mezclar el material con el asfalto hasta homogenizar la mezcla.

5.-se pesa (gr) o mide (ml) la cantidad de ITERLOW T que se utilizara.

6.-agregar ITERLOW T y mezclar hasta que se sea uniforme.

7.-una vez que se tiene la mezcla asfáltica, se crean pastillas.

8.-Las pastillas se dejan a la intemperie y se vigila su comportamiento.



Ilustración 23
agregados.



Ilustración 22 Asfalto.



Ilustración 21 Mezcla
de materiales.



Ilustración 20
Materiales homogenizados.

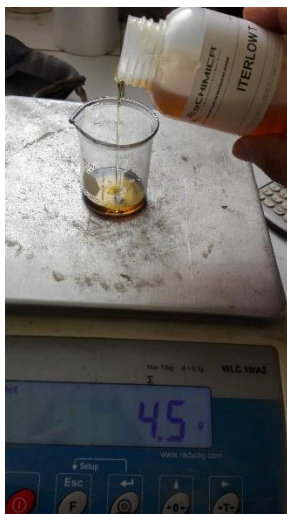


Ilustración 19
Pesado de INTERLOWT.



Ilustración 18
INTERLOWT agregado.



Ilustración 26
Homogenización.



Ilustración 25
Elaboración de pastillas.



Ilustración 24 Pastilla
en intemperie.

Después de realizar lo anterior se obtuvo lo siguiente:

Muestra 1, Cantidad: 3000gr.

Material	TMA	Cantidad en %	Cantidad en gr.
Grava	3/8"	80%	2400
Arena	3/8"	20%	600
Adicionales			
Asfalto		4.2%	126
ITERLOW T		20% (de asfalto)	21.1 ml

Tabla 15 Muestra 1.

Resultados finales:

Características	Si	no
Se puede almacenar	X	
Fácil de moldear	X	
Resistencia a la intemperie		X
Se puede utilizar para bacheo		X
Endurece		X

Tabla 16 Resultados finales muestra 1.

La mezcla no endurece adecuadamente, es por eso que, al crear las pastillas, empiezan a perder su forma hasta terminar totalmente deshechas como se muestra en la imagen:



Ilustración 27 Pastillas deshechas en intemperie.

Es por ello que se desecha esta opción, se decide cambiar proporciones de los agregados, así como la de la emulsión.

Muestra 2, cantidad: 1500gr.

Material	TMA	Cantidad en %	Cantidad en gr.
Grava	3/8"	70%	1050
Arena	3/8"	30%	450
Adicionales			
Asfalto		4.2%	63
ITERLOW T		15% (de asfalto)	9.45

Tabla 17 Muestra 2.

Resultados finales:

Características	Si	no
Se puede almacenar	X	
Fácil de moldear	X	
Resistencia a la intemperie		X
Se puede utilizar para bacheo		X
Endurece		X

Tabla 18 Resultados finales muestra 2.

Los resultados obtenidos son similares a la primera muestra, por lo que debido a su ineficiencia se desecha este diseño.

Para realizar el siguiente diseño se utiliza la misma cantidad de arena como de grava (50%-50%), porque debido a la falta de finos la muestra presenta deficiencias en la compactación y adherencia.

Muestra 3, cantidad: 1500gr.

Material	TMA	Cantidad en %	Cantidad en gr.
Grava	3/8"	50%	750
Arena	3/8"	50%	750
Adicionales			
Asfalto		4.2%	63
ITERLOW T		12% (de asfalto)	7.56

Tabla 19 Muestra 3.

Resultados finales:

Características	Si	no
Se puede almacenar	X	
Fácil de moldear	X	
Resistencia a la intemperie		X
Se puede utilizar para bacheo		X
Endurece	X	

Tabla 20 Resultados finales muestra 3.

Con los agregados igualados y la disminución de la emulsión la mezcla mejoro, pero sigue presentando fallas considerables en el fraguado.

Las proporciones de los agregados son adecuadas ya que se logra corregir la compactación, ya no se presentan oquedades y mejora la adherencia, por lo que se sigue utilizando la misma proporción de los agregados, pero se reduce la de emulsión ya que el fraguado aun tarda demasiado.

Muestra 4, cantidad: 1500gr.

Material	TMA	Cantidad en %	Cantidad en gr.
Grava	3/8"	50%	750
Arena	3/8"	50%	750
Adicionales			
Asfalto		4.2%	63
ITERLOW T		5% (de asfalto)	3.15

Tabla 21 Muestra 4.

Resultados finales:

Características	Si	No
Se puede almacenar	X	
Fácil de moldear	X	
Resistencia a la intemperie	X	
Se puede utilizar para bacheo	X	
Endurece	X	

Tabla 22 Resultados finales muestra 4.

Se presentaron excelentes resultados ya que la elaboración de las pastillas es mejor, ya se resiste la exposición a la intemperie sin que se disgregue el material, el endurecimiento es el adecuado y se puede almacenar adecuadamente.

A pesar de obtener resultados satisfactorios, el diseño se puede mejorar con la disminución de la emulsión, esto reduce el costo de producción.

Muestra 5, cantidad: 1500gr.

Material	TMA	Cantidad en %	Cantidad en gr.
Grava	3/8"	50%	750
Arena	3/8"	50%	750
Adicionales			
Asfalto		4.2%	63
ITERLOW T		2% (de asfalto)	1.26

Tabla 23 Muestra 5.

Resultados finales:

Características	Si	no
Se puede almacenar	X	
Fácil de moldear	X	
Resistencia a la intemperie	X	
Se puede utilizar para bacheo	X	
Endurece	X	

Tabla 24 Resultados finales muestra 5.

Finalmente se obtiene lo esperado, una mezcla moldeable, resistente a los cambios climáticos, no se disgrega, no presenta oquedades cuando se realiza la pastilla, al reducir la proporción de la emulsión se logra reducir el costo de producción al solo utilizar un 2% en su elaboración.

RESUMEN DE MUESTRAS

Muestra	Se puede almacenar	Fácil de moldear	Resistente a la intemperie	Se puede utilizar para bacheo	Endurece	TMA	Relación (%) grava-arena	% de Asfalto	% de INTERLOWT
1	SI	SI	NO	NO	NO	3/8"	80 - 20	4.2	20 (del asfalto)
2	SI	SI	NO	NO	NO	3/8"	70 - 30	4.2	15 (del asfalto)
3	SI	SI	NO	NO	SI	3/8"	50 - 50	4.2	12 (del asfalto)
4	SI	SI	SI	SI	SI	3/8"	50 - 50	4.2	5 (del asfalto)
5	SI	SI	SI	SI	SI	3/8"	50 - 50	4.2	2 (del asfalto)

Tabla 25 Resumen de muestras

Pruebas en bacheo



Ilustración 28 Sección abierta para rellenar.

Finalmente se prueba la mezcla al utilizarse en un bache que existe en una calle donde circula tránsito diario, esto para analizar el comportamiento de la mezcla en situaciones habituales.

se abre una sección de 1m x 1m para que sea rellenado con la mezcla asfáltica en frío.

Las capas de terracería ya existentes se hidratan y nivelan para que tenga una base adecuada la mezcla, ya que de no realizar lo

anterior se corre el riesgo de presentar desprendimiento.

Se realiza un riego de liga en el bache para que tenga adherencia la mezcla con las capas inferiores.

Se vierte la mezcla en el bache uniformemente para evitar excesos en algunos lados y escases en otros.

Finalmente se compacta para que tenga el espesor adecuado y evitar hundimientos excesivos en esa sección.

El bache es monitoreado frecuentemente para detectar si se presentan hundimientos, desprendimientos o cualquier otra falla que indique que el diseño es defectuoso o requiera ajustes.



Ilustración 29 Monitoreo de bache.

Al final los resultados son favorables ya que se logró un fácil manejo a la hora de utilizar la mezcla asfáltica, se utilizó una mezcla que se tenía almacenada previamente, la reparación se comportó adecuadamente al someterse a los climas y el tránsito.

En general la mezcla cumplió con el objetivo que se planteó en un inicio, se puede seguir utilizando para reparar calles y se puede tener disponible ya que se almacena en costales de 20kg.



Ilustración 30 Retiro de exceso de mezcla asfáltica.

Posteriormente se utilizó en superficies con más área para comprobar su eficiencia.



Ilustración 31 compactación de mezcla asfáltica en frío.

El tendido de la mezcla se hizo a mano por que la superficie no es tan grande para utilizar algún otro vehículo para vaciar la mezcla asfáltica.

Resultados

Después de someter la mezcla a condiciones habituales de la vida diaria, se determinó que se puede utilizar para más que bacheo ya que soporto el tránsito ligero, pero no así temperaturas extremas de más de 40 grados, la mezcla es maleable y debido a esa condición es fácil que se deforme, pero en términos generales cumple con lo requerido.

Conclusiones

Se realizaron en total seis mezclas asfálticas de la cual las dos últimas cumplieron con lo esperado.

La mezcla asfáltica elaborada (La número 4 y 5) cumplió con lo esperado, es maleable, se almacena como es requerido y resistente a las exigencias del tránsito diario.

En general se diseñó una mezcla asfáltica apegada a los parámetros establecidos por la SICT y AMAAC.

Recomendaciones

Para obtener mejores resultados es recomendable utilizar la mezcla asfáltica en frío para bacheo, calles o avenidas de bajo tránsito, ya que aún no se logra alcanzar la dureza adecuada para que se utilice en autopistas o avenidas principales ya que en estas la exigencia por el tipo de tránsito (pesado) es mayor.

Experiencia adquirida

La experiencia adquirida es satisfactoria, para la elaboración de la mezcla se estudiaron las normas de la SICT y AMAAC, además de llevarlas a la práctica para la elaboración de la mezcla asfáltica en frío.

Competencias desarrolladas

Diseño y construcción de Pavimentos

Identifica los conceptos básicos de mecánica de suelos para aplicar conceptos a ejemplos prácticos.

Reconoce las características de los agregados y los asfaltos para determinar el comportamiento en su utilización en un proyecto de carretera y normatividad vigente.

Reconoce y aplica los métodos de diseño de los pavimentos flexibles.

Mecánica de materiales

Comprende los fundamentos de la mecánica de materiales para su aplicación en la Ingeniería Civil.

Fuentes de Información

internacional, A. (2015). *ASTM D1188 - 07(2015). Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Sample*. EUA.

internacional, A. (2018). *ASTM D70-18a, Standard Test Method for Density of Semi-Solid Asphal Binder (Pycnometer Method)*. EUA.

internacional, A. (2019). *ASTM D2041/D2041M - 19, Standard Test Method for Theorical Maximum Specific Gravity and University of Asphal Mixtures*. EUA.

internacional, A. (2019). *ASTM D2726/D2726M - 19, Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-absorptive Compacted Asphalt Mixtures*. EUA.

International, A. (2015). *ASTM D6925 - 15, Standard Test Method for Preparation and Determination of the Relative Density of Asphalt Mix Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor*. EUA.

Officials, A. A. (2017). *AASHTO R-35-17, Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Asphal Mixtures*. EUA.

Officials, A. A. (2019). *AASHTO R 30-02 (2019), Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot-Mix Asphalt (HMA)*. EUA.

Transporte, I. M. (3 de Diciembre de 2018). *Normativa para la infraestructura del transporte*.
Obtenido de NIT-SCT: <https://normas.imt.mx/>

Complementarias:

NORMAS Y MANUALES

- Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas

DESIGNACIÓN

N-CMT-4-04

- Calidad de Materiales Asfálticos **N-CMT-4-O5-001**
- Calidad de Mezclas Asfálticas para carreteras **N-CMT-4-O5-003**
- Calidad de Cementos Asfálticos Según su Grado de Desempeño (PG) **N-CMT-4-O5-004**
- Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas **M-MMP-4-O4-001**
- Densidades Relativas y Absorción de Materiales Pétreos para
Mezclas Asfálticas **M-MMP-4-O4-003**
- Muestreo de Materiales Asfálticos **M-MMP-4-O5-001**
- Viscosidad Rotacional Brookfield de Cementos Asfálticos **M-MMP-4-O5-005**