

**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO DE LA TESIS

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO
DE ASFALTO AC-20 PROVENIENTE
DE TRES DISTINTAS REFINERIAS,
MEDIANTE EL MÉTODO UCL[®]**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JAIME BENJAMÍN RODRÍGUEZ MUNGUÍA

ASESOR:

DR. JORGE ALARCÓN IBARRA



Morelia Michoacán; Octubre 2012.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO 1.- ASFALTOS.....	4
1.1.- ORIGEN DEL ASFALTO	4
1.2.- HISTORIA DE LOS ASFALTOS.....	13
1.3.- TIPOS DE ASFALTO	18
CAPÍTULO 2.- MEZCLAS ASFÁLTICAS	20
2.1.- MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO	21
2.2.- MEZCLAS ASFÁLTICAS TEMPLADAS.....	22
2.3.- MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	26
CAPÍTULO 3.- MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA.....	37
3.1.- CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO PÉTREO	37
3.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	37
3.1.2 DENSIDAD	42
3.1.3 DUREZA	43
3.2.- CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO	43
3.2.1 VISCOSIDAD DINÁMICA.....	43
3.2.2 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL GRADO PG.....	44
3.2.3 MÉTODO UCL [®]	46
4.- ANÁLISIS DE ASFÁLTOS MEDIANTE EL ENSAYO UCL [®]	48

4.1.- RESULTADOS DEL MÉTODO UCL[®], COHESIÓN, TEMPERATURA-DESGASTE	66
4.2.- RESULTADOS DEL MÉTODO UCL[®], ENVEJECIMIENTO, TIEMPO-DESGASTE	70
4.3.- RESULTADOS DEL MÉTODO UCL[®], ADHESIVIDAD, TEMPERATURA-DESGASTE.....	74
 CONCLUSION.....	 79
 REFERENCIAS.....	 80

INTRODUCCIÓN

Las carreteras en nuestro país son básicas, ya que en este momento son el principal modo de transporte de personas y mercancías, estos factores contribuyen para el desarrollo social y económico. Por tales motivos es evidente la necesidad de su correcta construcción.

Los pavimentos que se utilizan para la construcción de las carreteras se clasifican en rígidos y flexibles, generalmente las carreteras que se construyen en nuestro país en la actualidad son de pavimento flexible debido a su bajo costo inicial, a que no requieren de juntas por lo que es más cómodo el transitar por ellas, a que pueden ser reciclados, a que su proceso de elaboración y colocación es fácil y rápido, etc.

Es por esta razón que nuestra investigación se enfoca específicamente al análisis del comportamiento de asfaltos tipo AC-20 que es el más utilizado para la elaboración de mezclas asfálticas empleadas en la construcción de pavimentos flexibles.

La estructura de un pavimento está integrada por la sub-base, base y carpeta de rodadura, construidas sobre unas terracerías debidamente compactadas, para poder soportar las cargas de tránsito de acuerdo al diseño, la cual debe resistir los esfuerzos producto del paso de vehículos, la caída de objetos y la compresión de los elementos de los que se apoyen en él.

El pavimento flexible soporta las cargas debidas al tránsito y las distribuye uniformemente en la sub-rasante, su estabilidad depende de las características de los materiales y de los espesores de las capas que lo constituyen, en nuestra investigación nos enfocamos a la caracterización del asfalto empleado en la elaboración de mezclas asfáltica y como interactúa con los agregados pétreos por medio del Método Universal de Caracterización de Ligantes (Método UCL[®]) que fue desarrollado en el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña, España, basado en las propiedades mecánicas que el ligante proporciona a la mezcla, y que puede analizar y comparar, al mismo tiempo, asfaltos convencionales y modificados, el Método permite evaluar las propiedades fundamentales de los ligantes: cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad y envejecimiento.

Cuando se realiza el análisis para la elaboración de mezclas asfálticas para carreteras, por lo regular solo se toma en cuenta la metodología para el análisis de calidad de agregados pétreos y asfalto, los ensayos más comunes para pétreos son: Desgaste de los Ángeles, Densidad, Absorción, Forma de la Partícula, Equivalente de Arena, Intemperismo Acelerado, Azul de Metileno, etc. para el asfalto: Viscosidad Dinámica a 60 °C, Viscosidad

Cinemática 135 °C, Viscosidad Saybol- Furol a 135 °C, Penetración a 25 °C, Punto de Inflamación, Punto de Reblandecimiento, etc. los cuales nos definen las características físicas, químicas y mecánicas del material que formará nuestra mezcla asfáltica cada uno por separado, pero no nos reflejará el comportamiento mecánico de la mezcla del agregado pétreo con el asfalto, por lo que se decidió realizar en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo un estudio completo sobre el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas en caliente con tres asfaltos tipo AC-20 provenientes de tres refinerías distintas: Salamanca, Salina Cruz y Tula, con un agregado pétreo de la región de Morelia, México. Donde podremos obtener las “Curvas de Estado” para la cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad y envejecimiento de los tres asfaltos tipo AC-20 y poder apreciar cual mezcla asfáltica tuvo mejor desempeño después de haber sido sometidas a los distintos procesos y corroborar que el Método UCL[®] es una excelente opción para obtener un estudio más completo de los asfaltos que formarán parte de las mezclas asfálticas en caliente.

OBJETIVOS

El presente documento pretende analizar el comportamiento de tres asfaltos tipo AC-20 de distintas refinerías de Pemex las cuales son Salamanca, Tula y Salina Cruz, el estudio tiene por objetivo general demostrar la importancia de analizar los asfaltos de una forma mecánica para garantizar que las mezclas asfálticas se comporten adecuadamente, para dicho análisis se utilizó el Método UCL[®] (Método Universal de Caracterización de Ligantes) debido a que este Método nos permite variar el rango de temperaturas de análisis que van desde -10 °C a 60 °C, rango que se asemeja a las condiciones reales de trabajo a las que se presentan en la región y nos demuestra de una forma sencilla y clara el comportamiento de los diferentes tipos de asfalto en combinación con los agregados, por medio de la variación por efecto de la temperatura, la presencia de agua y envejecimiento.

Para lograr cumplir el objetivo general se desarrollaron algunos objetivos específicos:

Determinación de la variación de la cohesión por temperatura–desgaste y obtener las “Curvas de Estado” de los tres asfaltos.

Determinar la disgregación de la mezcla después de someterla a un proceso de envejecimiento por tiempo–desgaste y obtener las “Curvas de Estado” de los tres asfaltos.

Determinación de variación de la adhesividad por la acción de desenvuelta del agua temperatura – desgaste y obtener las “Curvas de Estado” de los tres asfaltos.

CAPÍTULO 1.- ASFALTOS

1.1.- ORIGEN DEL ASFALTO

La palabra Asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiria, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 A.C. En esta zona se encuentra en efecto la palabra "Sphalto" que significa "lo que hace caer". Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó al latín y, más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt). Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado.

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfáltenos, resinas y aceites elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido y semisólido tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida. Estos pueden tener dos orígenes; los derivados de petróleos y los naturales.

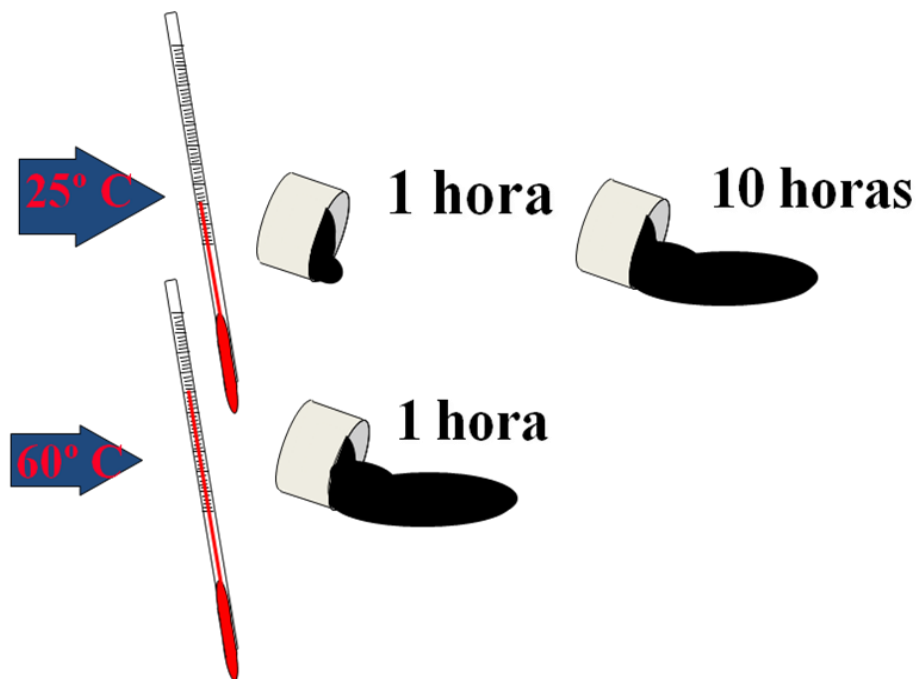


Figura 1.1. Comportamiento del flujo del cemento asfáltico, (fuente: N-CMT-4-05-001/00 Materiales para Pavimentos, Calidad de Materiales Asfálticos, SCT. Pág. 1.).

Asfaltos Naturales

Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente.

Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas, como la gilsonita. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad, no es muy utilizado este tipo de asfalto por carecer de uniformidad y pureza.

Estos asfaltos pueden clasificarse como:

Asfaltos Nativos, sólidos o semisólidos

- Puros o casi puros.
- Asociados con materia mineral.
- Asfaltitas duras.

Asfaltos Derivados de Petróleo

Los asfaltos más utilizados en el mundo hoy en día, son los derivados de petróleo, los cuales se obtienen por medio de un proceso de destilación industrial del crudo. Representan más de 90 % de la producción total de asfaltos. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto y a veces casi en su totalidad. Sin embargo existen algunos petróleos crudos, que no contienen asfalto.

En base a la proporción de asfalto que poseen, los petróleos se clasifican en:

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafínica.

El Asfalto como Material de Construcción:

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Como aplicación

de estas propiedades el asfalto puede cumplir, en la construcción de carreteras, autopistas, y aeropistas, también es utilizado en impermeabilizantes

El asfalto tiene las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

El asfalto se considera un material sólido con propiedades químicas aglutinantes que se vuelve pastoso y se licua por calentamiento. Químicamente estaba integrado principalmente por carbono y cantidades significativas de hidrógeno, azufre y varios metales, estos últimos son producto de la degradación de los hidrocarburos y de las petroporfirinas.

La estructura química del asfalto se describe en la proporción del mismo en fracciones utilizando solventes como pentano, heptano, butano o hexano así como ácido sulfúrico en diferentes concentraciones. Los métodos más conocidos son el de precipitación química, desarrollado por Rostter y Stemberg en 1963, que separa el asfalto en cinco fracciones (asfaltenos, acidatenos primarios y secundarios, parafina y bases de nitrógeno). El sistema de Corbett (ASTM D 4124) que funciona a base de columna cromatográfica al separar el asfalto en cuatro fracciones, los asfáltenos saturados y aromáticos, nafténicos y polares) con separación a base de heptano y tricoetileno. El sistema tlaxler que aplica butano y acetona para obtener tres fracciones.

Los asfaltos se clasifican en dos grupos; el tipo gel y el tipo sol. El tipo gel los asfaltenos están floculados y su comportamiento es visco elástico (no newtoniano). En el tipo sol, los asfaltenos están peptizados y su comportamiento es cercano a un líquido newtoniano.

El asfalto está compuesto en dos fases; una asfálténica y otra malténica, las cuales se dividen en dos fracciones, resinas que contienen moléculas parafínicas y nafténicas de larga cadena de anillos y la otra de aceites peptizados lo cual disuelve y mantiene en suspensión las resinas y los asfaltos.

La composición del asfalto varía de acuerdo al coeficiente de inestabilidad coloidal. El aumento de este coeficiente nos proporciona asfaltos más duros y con mayores valores en

punto de reblandecimiento, ductilidad y recuperación estática, pero disminuye la penetración y la susceptibilidad térmica.

Los asfaltenos son los que nos proporcionan la dureza y resistencia de los asfaltos. Las resinas son las que nos proporcionan las propiedades cementantes o adhesivas, así como los aceites lo hacen trabajable y le brindan la protección a los asfaltenos y a las resinas contra oxidación debido al interperismo, así como baja los efectos perjudiciales de los asfaltos en el proceso de la fabricación de la mezcla asfáltica al momento de calentarse. El comportamiento del asfalto en pavimentos depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de la carga.

Diagrama detallado del proceso de refinación de petróleo. El proceso comienza con la perforación y extracción de petróleo bruto, que luego pasa por un separador de gas y petróleo. El petróleo bruto se almacena y luego se bombea a una estación de bombeo. El proceso de refinación incluye la destilación en una torre de fraccionamiento, donde se separan los componentes en gas natural, nafta, gasolina bruta, keroseno bruto, aceite pesado, lubricantes y residuos pesados. Estos componentes luego pasan por unidades de procesamiento químico, como el tratamiento químico y la unidad de procesamiento de mezclas para aviación. El proceso finaliza con la producción de productos como gas natural para el hogar y la industria, gas de refinería, nafta, gasolina de aviación, gasolina de automóvil, naftas, keroseno y combustible de motores a chorro, petróleo para calefacción doméstica, fuel oil ligero, gasolinas fraccionadas, aceites lubricantes, grasas, plásticos, medicinas y componentes alimentarios, ceras y parafinas, coque y asfalto.

Jaime Benjamín Rodríguez Munguía

Destilación típica del petróleo

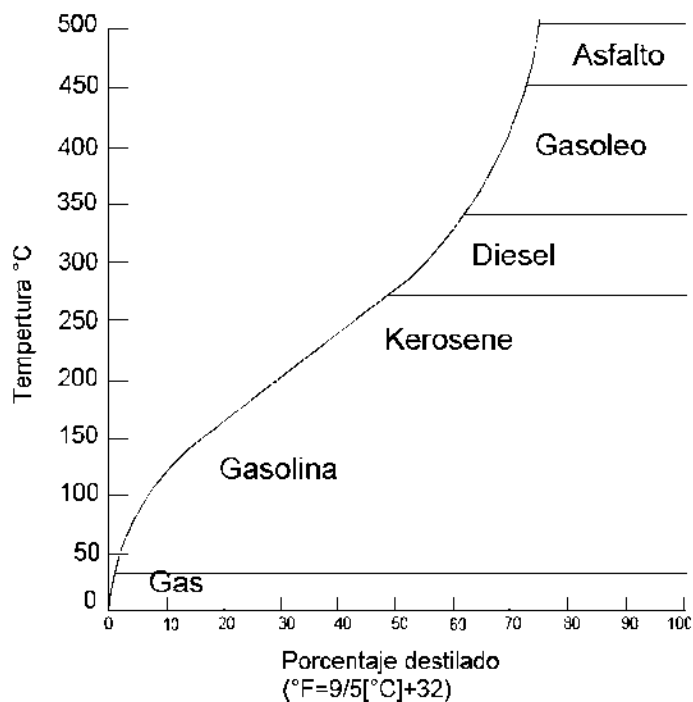


Figura 1.3. Productos y temperaturas típicas de destilación, (fuente: principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente (MS-22)).

Refinerías de México

Actualmente Pemex cuenta con una capacidad conjunta de refinación de 1,560,000 barriles diarios distribuidas en seis refinerías, como se muestra a continuación:

	Capacidad	Inauguración
Cadereyta	270	1979
Madero	195	1960
Minatitlán	200	1967
Salamanca	245	1950
Salina Cruz	330	1979
Tula	320	1976



Figura 1.4. La Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime en Salina Cruz, Oaxaca, (fuente:<http://www.pemex.com>).

De acuerdo con <http://www.ref.pemex.com> con el objetivo de elaborar los productos petrolíferos que cubran parte de la demanda nacional, basándose en las necesidades de consumo, además de realizar la exportación de crudo y destilados por las costas mexicanas del litoral del Pacífico, Petróleos Mexicanos proyectó la construcción de la Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime, la cual inició sus operaciones en el mes de abril de 1979, y desde entonces ha sido un centro de refinación en constante crecimiento como lo marca la cronología de sus operaciones.

La Refinería Antonio Dovalí Jaime ocupa una superficie total de 600 hectáreas localizadas a cinco kilómetros al noreste de la ciudad y puerto de Salina Cruz, Oaxaca. El municipio de Salina Cruz se ubica sobre la costa del Océano Pacífico, en una latitud norte 16°09'30" y longitud oeste 95°01'30", y está catalogado como puerto de altura y de gran cabotaje.

Actualmente, Salina Cruz cuenta con una población de 230,000 habitantes y es considerado como uno de los puertos más importantes del Pacífico mexicano y una de las ciudades con brillante porvenir en el estado de Oaxaca.

A partir de la puesta en operación de la Refinería Ing. Antonio Dovalí Jaime, ésta ha registrado un constante crecimiento que la ubica como la más grande del sistema petrolero de refinación en el contexto nacional, con capacidad para procesar 330,000 BPD de crudo.



Figura 1.5. La Refinería Miguel Hidalgo en Tula de Allende Estado de México, (fuente: http://www.globalmedia.mx/sanluis/ver_noticia.php?id=37359).

De acuerdo con <http://www.ref.pemex.com> la Refinería Miguel Hidalgo se encuentra localizada en el Estado de Hidalgo, en el municipio de Tula de Allende, a 82 km. al norte de la Ciudad de México.

Sus instalaciones ocupan un área total de 749 hectáreas, que se encuentran estratégicamente situadas por encontrarse entre los principales productores de aceite crudo y el mayor consumidor de combustible.

La refinería Miguel Hidalgo, fue la primera refinería planeada de forma integral con plantas de proceso de hidrocarburo de alta capacidad. Su construcción se llevó a cabo en varias etapas. La primera etapa se inauguró el 18 de marzo de 1976.

Esta refinería es considerada como una de las más importantes en el país por su capacidad instalada, y la porción del mercado que controla, ya que procesa el 24% de crudo total que se refina en México.

Tula cuenta actualmente con una capacidad de refinación de 325,000 barriles por día. El área productiva está integrada por 10 sectores de proceso que incluyen plantas de proceso, plantas ecológicas, sistemas de bombeo y almacenamiento de productos y un sector de servicios auxiliares



Figura 1.6. La Refinería Ing. Antonio M. Amor (RIAMA) en Salamanca Guanajuato México, (fuente: <http://www.jornada.unam.mx/2009/09/27/economia>).

De acuerdo con <http://www.ref.pemex.com> el 30 de Julio de 1950 se inaugura la refinería Ing. Antonio M. Amor (RIAM), cuando en forma simultánea a la terminación del tendido del oleoducto con una longitud de 450 kilómetros desde la ciudad de Poza Rica, Ver., a Salamanca, Gto., se pusieron en operación las primeras unidades de producción, integradas por una planta de Destilación Primaria, con capacidad para procesar 25,000 barriles por día, e íntimamente ligadas a ésta, una Planta Desulfuradora de Gasolina, una Planta de Desintegración Térmica, Tanques de Almacenamiento y Servicios Auxiliares. En esta primera fase el personal estaba constituido en su gran mayoría por trabajadores transferidos de las desaparecidas refinerías de Bellavista y Mata Redonda, Ver. y Árbol Grande, Tamps.

Actualmente, la Refinería de Salamanca está conformada por 53 plantas de proceso las cuales elaboran 42 productos terminados. Inició operaciones en 1950 y ha tenido varias etapas de crecimiento en 1955, 1962, 1970-74, 1979, hasta la última en 1992-96 con las plantas del paquete ecológico. Es de esperar que las instalaciones más antiguas representen la mayor área de oportunidad para sustituir nueva tecnología que incluye conceptos de protección al ambiente, mayor eficiencia y mayor rentabilidad.

1.2.- HISTORIA DE LOS ASFALTOS

El cemento asfáltico a través del tiempo se ha clasificado de acuerdo a diferentes ensayos, primero fue el de penetración, después por su viscosidad (AC) y en estos momentos se encuentra en transición para clasificarse por su grado de desempeño (PG).

Cemento asfáltico clasificado por penetración.

La clasificación de asfaltos por penetración que podemos interpretar como el grado de dureza de un asfalto se basa en pruebas empíricas que no, nos ayudan a representar información real en el intervalo de temperatura del pavimento ni a simular las condiciones de carga de tránsito y ambientales a las que el asfalto estará sujeto.

La primera documentación de clasificación en México data de 1947 por la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

Tabla 1.1. Requisitos de Calidad para el asfalto 15-200

Característica	Valor
Penetración a 25°C.	150 a 200
Pérdida de peso máximo.	3%
Penetración del residuo a 25°C	75 a 100%
Solubilidad en S2. C.	99%
Solubilidad en CI4. C.	98.50%
Ductilidad a 25°C., mínima.	35 cm

(Fuente: Especificaciones de caminos, Dirección Nacional de Caminos de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, 1947).

En el año de 1957 se propuso otra normativa para clasificar el asfalto por penetración de asfaltos producidos en México.

Tabla 1.2. Requisitos de Calidad para tipos de cemento asfálticos que se producían en México en 1957.

Característica	Cemento Asfáltico			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100g, 5s, 25°C, grados	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Furol: A 135°C, s, mínimo	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa abierta de Cleaveland), °C, mínimo	220	232	232	232
Punto de reblandecimiento, ° C	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	60	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 50 cm³, 5h, 163°C:				
Penetración retenida, por ciento, mínimo	40	50	54	58
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo	1.4	1	0.8	0.8

(Fuente: Especificaciones de caminos, Dirección Nacional de Caminos de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, 1957).

Tabla 1.3. Requisitos de calidad SCT para los tipos de asfalto que se producían en México y su comparación con las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) para 1987.

Característica	Producto Asfáltico					
	Cemento Asfáltico Núm. 6 (SCT)	Cemento Asfáltico 85-100 (ASTM)	Asfalto Rebajado FR-3 (SCT)	Asfalto Líquido RC-800 (ASTM)	Asfalto Rebajado FR-1 (SCT)	Asfalto Líquido MC-70 (ASTM)
Penetración, 100g, 5s, 25°C, grados	80-100	85-100	80-120	80-120	120-300	125-250
Viscosidad Saybolt-Furol: A 135°C, s, mínimo	85	-	250-500	(400-800)*	75-150	(35-70)*
Punto de inflamación (copa abierta de Cleaveland), °C, mínimo	232	232	27	27	38	38
Punto de reblandecimiento, ° C	45-52	45-52	-	-	-	-
Ductilidad, 25°C, cm, mínimo	100	100	100	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	99.5	99	99.5	99	99.5	99
Prueba de la película delgada, 50 cm³, 5h, 163°C:						
Penetración retenida, por ciento, mínimo	50	47	-	-	-	-
Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo	1	1	-	-	-	-
Ductilidad después de la pérdida por calentamiento, mínimo	-	75	-	-	-	-
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C						
Hasta 190°C mínimo	-	-	-	-	-	-
Hasta 225°C mínimo	-	-	25	15	Máx.20	Máx.20
Hasta 260°C mínimo	-	-	55	45	25-65	20-60
Hasta 315°C mínimo	-	-	83	75	70-90	65-90
Residuo de la destilación a 360°C, por ciento, mínimo	-	-	73	75	60	55
Agua por destilación, por ciento, máximo	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2

*Valores reales en centistokes, convertidos a segundos Saybolt-Furol.

(Fuente: Especificaciones de caminos, Dirección Nacional de Caminos de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, 1987).

Cementos asfálticos clasificados por viscosidad.

El cambio de clasificación de cemento asfáltico clasificado por penetración a clasificarlo por su viscosidad es principalmente porque en México hay gran diversidad de regiones con distintas características como es el clima, los materiales, procedimientos constructivos y el tráfico. Así que cada región requiere un cemento asfáltico adecuado.

Por el hecho de que la mayor parte del asfalto producido en México era para fines de exportación hacia los Estados Unidos de América donde exigen que cumplan las normas ASTM del año de 1992 que clasifica el asfalto por grado de viscosidad, es por eso que se comienza la unificación de la clasificación de los cementos asfálticos con una sola clasificación por su viscosidad.

La clasificación de asfaltos por su viscosidad hizo que el uso de asfaltos rebajados bajara y se sustituyera por emulsiones asfálticas, aparte de que los asfaltos rebajados en su producción producían contaminantes perjudiciales al medio ambiente.

El primer cemento asfáltico fabricado clasificado por su viscosidad en México fue el AC-20 producido en septiembre de 1995 en las refinerías de Ciudad Madero y Cadereyta.

En julio de 1995 el cemento N.6 cambia a AC-10 en la refinería de Tula, en el mismo año se elabora el AC-30 en Ciudad Madero.

En febrero de 1998 se produce en Salamanca el AC-5 que fue utilizado para fabricar emulsiones.

En 1996 la Dirección General de Servicios Técnicos de la Subsecretaría de Infraestructura de la SCT, publicó la Guía general tentativa para el uso de los nuevos asfaltos que producía Pemex.

Donde se recomienda:

- El asfalto AC-5. Para la elaboración de emulsiones asfálticas y concretos asfálticos para utilizarse en algunas partes de la Sierra Madre Occidental, en Durango y Chihuahua.
- El asfalto AC-10. Para ser utilizado en la región central y el altiplano del país.
- El asfalto AC-20. Para ser utilizado en el suroeste, regiones costeras del Golfo y del Pacífico, hasta Sinaloa, incluye Baja California Sur.
- El asfalto AC-30. Para ser utilizado en el norte y noreste del país menos Tamaulipas.

Las recomendaciones anteriores están dadas respecto al clima. La clasificación vigente de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C y sus usos se encuentra en la norma SCT N-CMT-4-05-001 o en el Capítulo 1.3 Tipos de Asfalto.

Cemento asfáltico por clasificación PG Performance Grade (grado de desempeño) con la metodología SHRP.

En el año de 1987 en los Estados Unidos comenzó el desarrollo de un nuevo sistema para especificaciones del material asfáltico de acuerdo a su Grado PG, donde el producto final fue el programa de investigación llamado SHRP (por sus siglas en inglés Strategic Highway Research Program) Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, el cual tenía como objetivo principal, mejorar el desempeño, durabilidad y seguridad de las carreteras.

La selección de materiales asfálticos, el diseño de la mezcla asfáltica y su análisis donde incluye equipos de ensayo, métodos de ensayo y criterios es lo que caracterizan este método. Los ensayos seleccionados por SHRP para cementos asfálticos miden las propiedades reológicas a altas temperaturas, como las de elaboración de la mezcla asfáltica en las etapas de calentamiento, bombeo, mezclado, tendido y compactación, a temperaturas intermedias y bajas, para que puedan ser semejantes los requerimientos necesarios.

Lista de ensayos utilizados por SHRP para cementos asfálticos:

- Punto de inflamación “SP”. Es cuando el asfalto es calentado y genera vapores que son combustibles. Esta prueba nos da la temperatura a la cual puede ser calentado el asfalto con seguridad sin producir la inflamación por los vapores liberados.
El ensayo mas utilizado para conocer esta temperatura es el de cemento asfáltico vaso abierto Cleveland que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado. Se pasa una llama pequeña sobre la superficie del asfalto en intervalos de tiempo estipulados. El punto de encendido es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles para provocar una inflamación instantánea. Se encuentra normado en ASTM D-9290 y AASHTO T-48.
- Reómetro de corte dinámico (DSR). Con este equipo podemos medir el módulo complejo (G^*) y expresado en radianes por segundo el ángulo (δ) a diferentes temperaturas y tiempos de esfuerzo. El reómetro nos permite prevenir las deformaciones permanentes del ligante por medio de la reología en corte simple ya que podemos conocer la deformación plástica del asfalto. La prueba consiste en colocar una muestra de 2mm espesor por 25mm de diámetro entre dos placas para altas temperaturas y de 1mm de espesor por 8mm de diámetro para

temperaturas intermedias a las cuales se les aplica una frecuencia de oscilación de 10 rad/s (1,59Hz). Se encuentra normado en SHRP B-003 y AASHTO TP-5.

- Reómetro de flexión (BBR). Nos proporciona las propiedades de un pavimento a temperaturas mínimas. Este ensayo es de deformación por flujo plástico a bajas temperaturas donde nos refleja como el asfalto se deforma cuando está bajo carga constante, permite medir la rigidez y el valor de la pendiente a los 60 segundos de carga. La rigidez en la deformación por flujo plástico a flexión, determina si el asfalto es resistente al fisuramiento térmico a bajas temperaturas que tiene relación con el límite de rigidez por temperatura. Esto es la temperatura del pavimento donde se le da un valor de rigidez que alcanza el asfalto en un tiempo de carga especificado. Se encuentra normado en SHRP B-002 y AASHTO TP-1.
- Viscosidad coaxial rotacional (RV). Sirve para asegurarse que el cemento asfáltico es suficientemente fluido para transporte, bombeo, mezclado y graficar la curva viscosidad-temperatura. Se encuentra normado en ASTM D-4402 y AASHTO TP-48.
- Envejecimiento en película delgada rolada (RTFO). Con esta prueba se simula el envejecimiento del asfalto a corto plazo semejante a lo que ocurre en el tambor mezclador de las plantas de mezclado en caliente. Se encuentra normado en ASTM D-2872 y AASHTO T-240.
- Envejecimiento a largo plazo a presión y temperatura (PAV). Su objetivo es simular el envejecimiento del asfalto a largo plazo (5 y 10 años) en un periodo de 20 horas por medio de presión de aire comprimido de (2070 KPa) y altas temperaturas como son 90°C, 100°C o 110°C. el ensaye consiste en tomar una muestra de asfalto envejecido en el RTFO y colocarlo en 10 vasijas de acero inoxidable y la temperatura se ajusta según el clima de la región de estudio. Se encuentra normado en SHRP D-005 y AASHTO PP-1.
- Ensayo de tensión directa. En el ensaye se pueden utilizar asfalto envejecido a corto y largo plazo también sin envejecer. Este ensayo es complemento del reómetro de flexión (BBR) cuando los asfaltos han sido modificados con polímeros debido a que tienen un alto valor de rigidez, el ligante todavía puede estirarse o deformarse sin romperse. Nos sirve para medir la deformación por roturas a temperaturas bajo cero donde el asfalto tiene un comportamiento frágil.

1.3.- TIPOS DE ASFALTO

En México Pemex comenzó la aplicación de la clasificación por viscosidad del asfalto en el año de 1996 para garantizar de manera adecuada la calidad del cemento asfáltico la cual ya se aplicaba en Estados Unidos por la ASTM desde 1992. Esta clasificación toma la viscosidad como parámetro principal para identificar el asfalto, ya que se asimila más el manejo y aplicación del asfalto en obra que la clasificación del asfalto por penetración.

Clasificación vigente de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60°C y sus usos según la norma en uso SCT N-CMT-4-05-001/06:

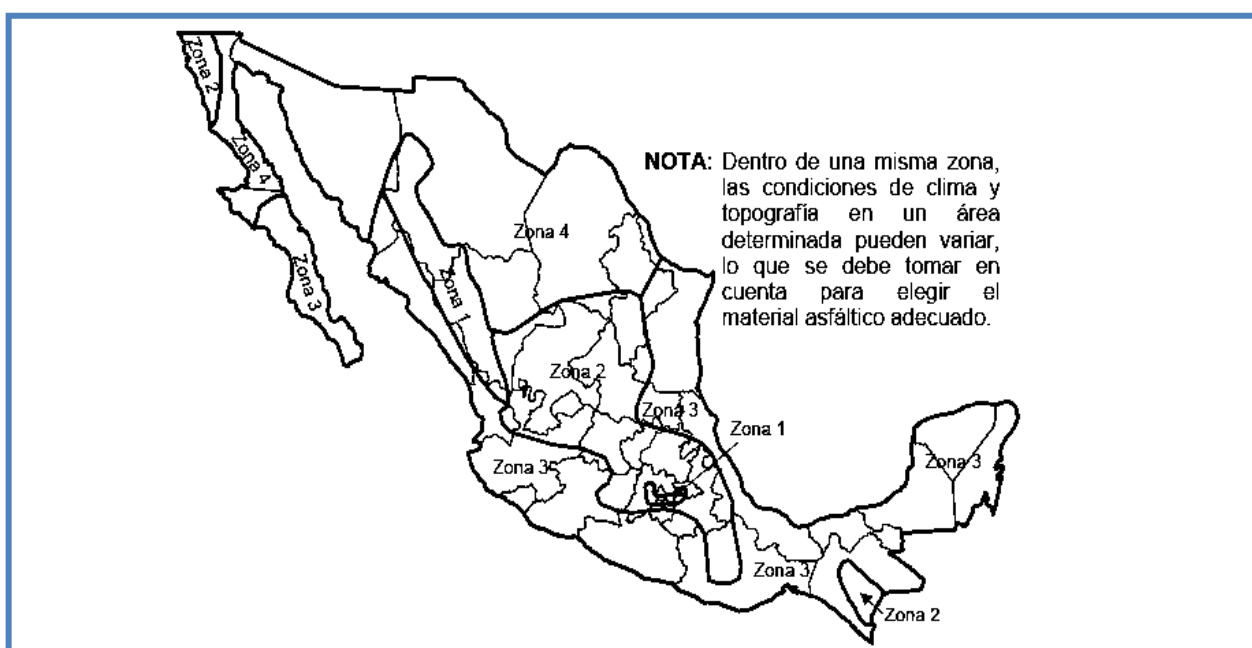


Figura 1.7. Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60° C (fuente: SCT N-CMT-4-05-001/06)

De acuerdo con SCT N-CMT-4-05-001/06:

Asfalto AC-5, viscosidad dinámica a 60°C de 50 ± 10 (500 ± 100), Pa•s ($P^{[Poises]}$). Utilizado en la elaboración de mezclas en caliente así como de emulsiones asfálticas utilizadas para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena y como en estabilizaciones dentro de la Zona 1

Asfalto AC-10, viscosidad dinámica a 60°C de 100 ± 20 (1000 ± 200), Pa•s ($P^{[Poises]}$). Utilizado en la elaboración de mezclas en caliente en las regiones indicadas en la Zona 2, así

como de emulsiones asfálticas que se utilizan en carpetas y morteros de mezclas en frio, y en carpetas por el sistema de riego en las regiones indicadas en la Zona 1.

Asfaltos AC-20, viscosidad dinámica a 60°C de 200 ± 40 (2000 ± 400), Pa•s ($P^{[Poisies]}$). Utilizado en la elaboración de mezclas en caliente en las regiones indicadas en la zona 3, así como de emulsiones asfálticas que se utilizan en carpetas y morteros de mezclas en frio, y en carpetas por el sistema de riego en las regiones indicadas en la Zona 2.

Asfaltos AC-30, viscosidad dinámica a 60°C de 300 ± 60 (3000 ± 600), Pa•s ($P^{[Poisies]}$). Utilizado en la elaboración de mezclas en caliente en las regiones indicadas en la zona 4, así como de emulsiones asfálticas que se utilizan en carpetas y morteros de mezclas en frio, y en carpetas por el sistema de riego en las regiones indicadas en la Zona 3 y 4.

Tabla 1.4. Requisitos de calidad de la normativa vigente SCT para tipos de asfalto clasificados por viscosidad que se producen en México.

Característica	Clasificación			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento asfáltico original:				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa•s ($P^{[1]}$)	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1000 ± 200)	200 ± 40 (2000 ± 400)	300 ± 60 (3000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s= 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol: A 135°C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración 25°C, 100g, 5s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleaveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento, ° C	37-43	45-52	48-56	50-58
Del residuo de la prueba de la película delgada:				
Pérdida por calentamiento, %, máximo	1	0.5	0.5	0.5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa•s ($P^{[1]}$), máximo	200 (2000)	400 (4000)	800 (8000)	1200 (12000)
Ductilidad, 25°C, y 5°C cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25°C, %, mínimo	46	50	54	58

[1] Poises

Fuente: SCT N-CMT-4-05-001/06

CAPÍTULO 2.- MEZCLAS ASFÁLTICAS

Una mezcla asfáltica es un producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en un pétreo. En las mezclas asfálticas lo importante es optimizar principalmente su Estabilidad, Durabilidad y Resistencia a la fatiga.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ella, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y la temperatura.

La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, confortable y estética.

El empleo de las mezclas asfálticas tienen como finalidad en los pavimentos, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores, proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de estas vías de comunicación, así como facilitar la circulación de los vehículos y resistir las cargas generadas por el tráfico.

Los aspectos a considerar en una mezcla que será utilizada como capa de rodadura son; Resistencia al deslizamiento, Regularidad, Permeabilidad adecuada, Sonoridad, Color.

Cuando la mezcla asfáltica es utilizada para capas inferiores su misión es estructural, su objetivo principal es absorber las cargas a las que está sometida por el tráfico para transmitir las a la cimentación de la carretera disminuidas.

Las mezclas asfálticas se clasifican en México según su temperatura de mezclado en mezclas asfálticas en caliente, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas tibias, estas últimas no aparecen en las Normas de la SCT.

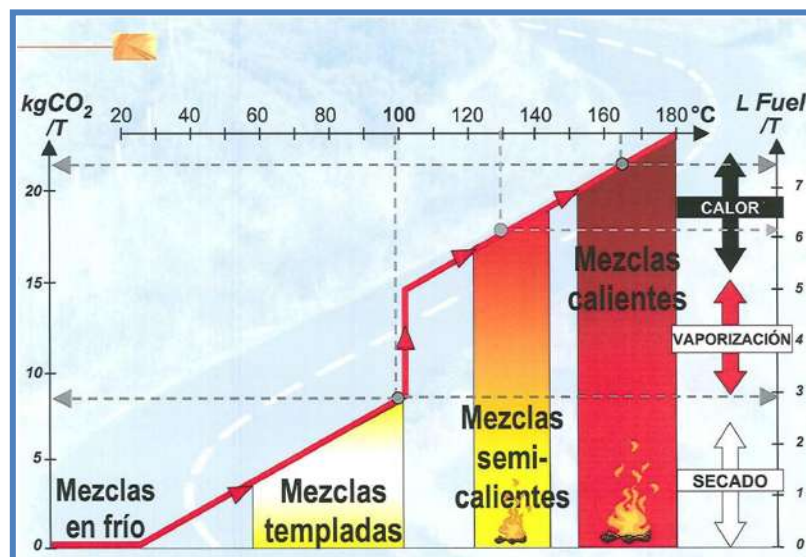


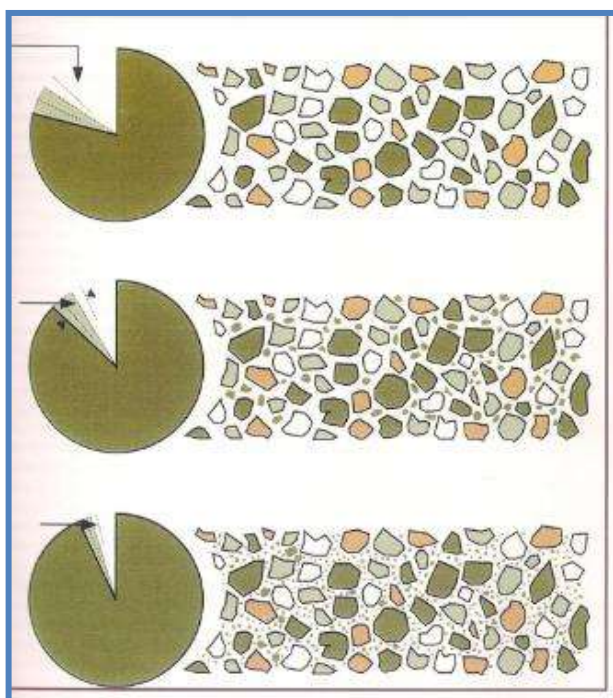
Figura 2.1. Grafica de emisiones de CO₂ -Temperatura al elaborar las Mezclas (fuente: Dr. Pedro Limón, LASFALTO, SURFAX S.A DE C.V.)

2.1.- MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

Las mezclas asfálticas en frío son las que necesitan de agregados pétreos seleccionados, algún tipo de ligante hidrocarbonado y posiblemente aditivos, que permitan que los agregados se recubran sin necesidad de calor.

De acuerdo con el libro Emulsiones Asfálticas SFERB Routes de France capítulo de mezclas asfálticas en frío, las características específicas de las mezclas en frío son:

- Las mezclas se producen con agregados específicamente seleccionados para este propósito.
- Las mezclas asfálticas no deben ser almacenadas o deben tener un corto tiempo de almacenamiento.
- Todas las fracciones del agregado deben ser cubiertas por completo.



Mezclas frías de granulometría abierta con vacíos mayores al 18 %

Mezclas frías de granulometría semi-densa con vacíos entre 10% y 15%

Mezclas frías de granulometría densa con vacíos menores a 10%

Figura 2.2. Granulometría de mezclas frías (Fuente: emulsiones asfálticas SFERB Routes de France).

Clasificación no oficial de las mezclas en frío con emulsión basada en su composición, aceptada por la comunidad técnica de construcción de caminos.

Propiedades específicas de las mezclas en frío.

-La presencia de agua afecta considerablemente el comportamiento durante la vida temprana de la mezcla.

-Las reacciones químicas en la interfaz entre agregados y la emulsión ayudan en la calidad del asfalto.

-Las mezclas en frío son materiales que cambian con el tiempo. Algunas mezclas frías se comportan inicialmente como materiales no vinculados y gradualmente adquieren cohesión considerablemente hasta comportarse como una mezcla en caliente fuertemente ligada.

-El porcentaje de vacíos es mayor durante las etapas tempranas en una mezcla en frío comparada con el equivalente en una mezcla en caliente.

Área de usos.

- Caminos, áreas recreativas, baches, carriles con obstáculos.
- Grava emulsión para sobre capas ya que se puede aplicar en espesores que varíen de 0 a 10cm.
- Base y capas de cimentación donde el espesor de la capa es generalmente de 5 a 15cm, carpeta de rodamiento, como carpeta base.

Las mezclas en frío elaboradas con emulsiones pueden ser fabricadas en plantas estacionarias, móviles, continuas o discontinuas.

2.2.- MEZCLAS ASFÁLTICAS TEMPLADAS

Las mezclas asfálticas templadas tratan de consumir la menor energía posible y ser respetuosas con el medio ambiente por medios mecánicos adecuados y con la manejabilidad suficiente para la fabricación de la mezcla templada con la calidad requerida.

En febrero de 2005 entró en vigor el protocolo de Kioto, firmado en 1997, auspiciado por la ONU. En el convenio sobre el cambio climático se considera importante y necesario que los países industrializados reduzcan sus emisiones por parte de todos los sectores industrializados y proceder a adaptar medidas que satisfagan su cumplimiento.

Desde hace ya varios años, las mezclas asfálticas templadas son utilizadas en Europa y en el mundo. En México el distrito federal es el pionero en el uso de estas mezclas al ponerlas como uso obligatorio de acuerdo con el plan de desarrollo del Distrito Federal 2007-2008 expedido por el jefe de gobierno en la gaceta oficial del 12 de octubre del 2010 para los trabajos de pavimentación, repavimentación y bacheo para todas las obras que realiza el Gobierno del Distrito Federal.

Estas mezclas pueden sustituir a las mezclas asfálticas tradicionales utilizando grandes compuestos hidrocarbonados normales o modificados sin perder su calidad y sin producir cambios importantes del proceso constructivo y pavimentación.

Los beneficios que nos otorgan estas mezclas es reducir significativamente el consumo de combustible, con esto se reducen las emisiones tóxicas al ambiente entre un 15% y 20%, sin perjudicar la calidad y durabilidad de los pavimentos.

La contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales del siglo XXI ya que por esto la población se ve mermada en su salud, que se ve reflejada en enfermedades en vías respiratorias, ojos y piel.

Para que una mezcla asfáltica sea considerada como templada debe ser fabricada por lo menos 30°C por debajo de la temperatura convencional empleada para su elaboración, lo cual ayuda a la optimización de los recursos en materia energética, social y ambiental, esto generado por el menor consumo de energía y ser respetuosas del medio ambiente.

Las mezclas asfálticas son productos que por lo regular son mezclados a temperaturas cercanas a los 150°C o superiores si son asfaltos duros o modificados.

Las mezclas asfálticas templadas tienen como fin garantizar:

-Un revestimiento por completo de la granulometría por la película de ligante asfáltico, ya que baja la viscosidad al aumentar su temperatura.

- Una mezcla homogénea, gracias a la manejabilidad aumentada del compuesto durante el tiempo de producción.

-Una compactación adecuada durante todo el proceso de tendido y compactación, debido a la lubricación del ligante fluido.

Las mezclas asfálticas templadas pueden lograr características idénticas a las mezclas asfálticas en caliente.

- Al tendido y compactado los compuestos hidrocarbonados templados presentan resistencia mecánica muy similar o ligeramente superiores a las mezclas en caliente.

- Si el mezclado templado es adecuado se puede obtener una maleabilidad equivalente a la de las mezclas en caliente durante todo el proceso de fabricación, transporte, tendido y compactación.
- La principal diferencia entre las mezclas templadas y las mezclas en caliente es el rango de temperatura para su fabricación y por consiguiente de su proceso de pavimentación.

Actualmente, la mayoría de los procedimientos en el mundo son a base de un aditivo que permite la modificación de la viscosidad.

Los procedimientos que permiten una reducción de viscosidad del ligante pueden separarse en dos grandes grupos:

-La utilización de asfaltos espumosos, el cual puede ser obtenido por la inclusión de un aditivo específico o de agua durante el proceso de fabricado.

-La utilización de un aditivo, que permite modificar la viscosidad de los asfaltos.

Las antiguas plantas de asfalto resultan nocivas para el medio ambiente ya que tienden a tener un mal control de emisión de gases invernadero, CO₂ (dióxido de carbono) y emisión de contaminantes, NO_x (óxidos de nitrógeno), SO₂ (dióxido de azufre), COV (compuestos orgánicos volátiles).



Figura 2.3. Antigua planta de asfalto en comparación con moderna planta de asfalto. (Fuente: Mezclas Tibias, Dr. Pedro Limón Covarrubias, LASFALTO, SURFAX S.A DE C.V.).

Es importante aislar perfectamente el tambor de mezclado en las plantas de asfalto ya que de no ser así aumenta el consumo de combustible y la emisión de gases contaminantes.



Figura 2.4. Aislar. (Fuente: Mezclas Tibias, Dr. Pedro Limón Covarrubias, LASFALTO, SURFAX S.A DE C.V.).

La razón de las mezclas tibias:

- Disminuir la emisión de gases invernadero, CO₂ (Dióxido de carbono).
- Disminuir la emisión de contaminantes, NO_x (Óxidos de Nitrógeno), SO₂ (Dióxido de Azufre), COV (Compuestos orgánicos volátiles).
- Disminuir el consumo de combustible.
- Otro posible beneficio: Disminuir la oxidación del asfalto durante el proceso de producción.

Algunas ventajas:

- Aumentar la distancia de transporte, al bajar la temperatura de producción.
- Extender la temporada de construcción. Deja de ser tan crítica la temperatura de tendido y compactación por lo que se puede trabajar a temperatura ambiente más baja.
- Mejorar las condiciones de trabajo de los operadores.
- Mejora las condiciones de seguridad debido a la reducción del calentamiento.
- Mayor confort en los sitios de pavimentación para los trabajadores, usuarios y residentes de la zona.

2.3.- MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente. Las plantas mezcladoras pueden ser estacionarias o móviles lo importante es que tengan el equipo adecuado para calentar y mezclar uniformemente los componentes de la mezcla.



Figura 2.5. Planta de asfalto para elaboración de mezclas en caliente (Fuente: http://www.ciber.com.br/es/tecnologias/plantas-de-asfalto-contrafujo/Counter-flow_Aspphalt_Plant.html?gclid=CIDgpoapy68CFQpY7AodIhP3bw).

Tabla 2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas en caliente

	CARACTERISTICAS
MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRIA DENSE	Sus materiales pétreos son bien graduados con tamaño nominal entre 37,5mm y 9,5mm que cumplan con la calidad requerida, por lo regular es utilizada en carpeta asfáltica de pavimentos nuevos, para resistencia estructural, también se utilizan en renivelaciones y refuerzo en pavimentos existentes. La mezcla es caliente, uniforme y homogénea.
MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRIA DISCONTINUA, TIPO SMA	Su granulometría es discontinua con tamaños nominales entre 19,0 mm y 9,5 mm que cumplan con la calidad requerida utilizada normalmente para la formación de capas de rodaduras para mejorar las condiciones de circulación del vehículo respecto a una carpeta asfáltica convencional , evitando que se forme una película continua de lluvia en la superficie del pavimento debido a su macrotextura, así se incrementa la fricción de las llantas, minimiza el acuaplaneo, mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. También es utilizado en capas inferiores en carreteras ya que tiene alta resistencia estructural. Necesitan de fibras para evitar el escurrimiento.
MEZCLAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRIA ABIERTA	Sus materiales pétreos son bien graduados con un tamaño nominal entre 12,5mm y 6,3mm que cumplan con la calidad requerida. Utilizada principalmente para capas de rodadura, no tienen función estructural y por lo general se construyen sobre una carpeta de granulometría densa. su objetivo es desplazar el agua de lluvia por medio de sus vacíos de la carpeta, su objetivo es incrementar la fricción entre llanta y superficie de rodadura, minimizar el acuaplaneo, reducir la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y mejorar la visibilidad del señalamiento horizontal. las mezclas asfálticas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor a 600mm por año. la ventaja es que son capas de poco espesor y así se protegen las capas inferiores y se le proporciona al usuario una superficie adecuada para su circulación. Sus desventajas es que por los vacíos tiende a envejecer a corto plazo por la intemperie.

(Fuente: Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México. Manuel Tinoco Zamudio. XXIV Congreso Mundial de Carreteras. MOVILIDAD, SUSTENTABILIDAD Y DESARROLLO. Ciudad de México del 26 al 30 de septiembre de 2011.)

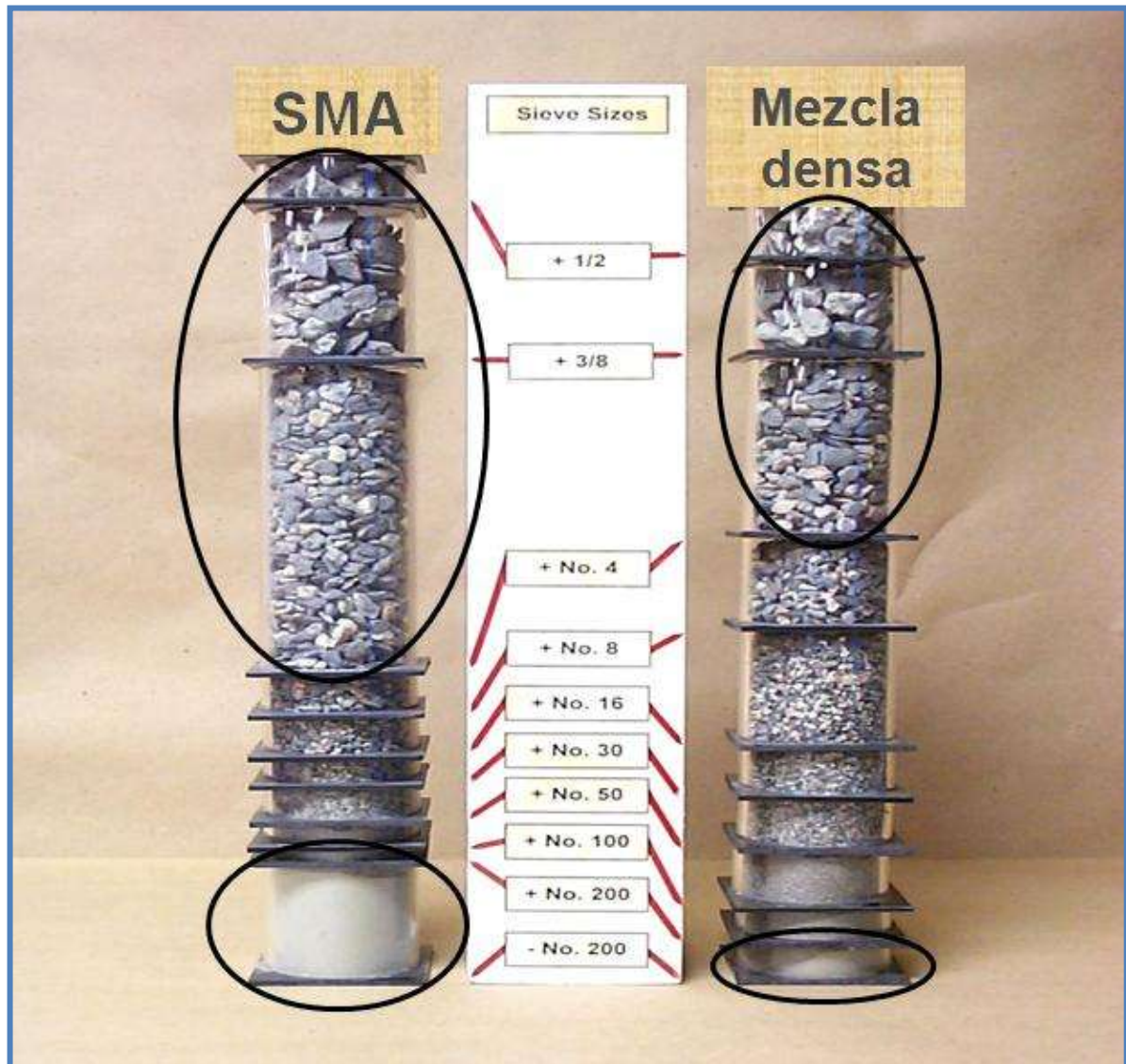


Figura 2.6. Comparación granulométrica de las mezclas asfálticas de discontinuas tipo SMA y las mezclas asfálticas densas. (Fuente: Aspectos prácticos de las mezclas SMA. Dr. Mauricio Centeno SURFAX S.A. de C.V.)

Los tres métodos utilizados para obtener el contenido óptimo de asfalto de mezclas en caliente de granulometría densa así como para determinar las proporciones apropiadas de agregado en una mezcla en caliente son el Método Marshall , el Método Hveem y Protocolo AMMAC, cualquiera de estos tres métodos darán resultados satisfactorios.

Método Marshall

El método Marshall fue creado por el ingeniero Bruce Marshall trabajador del departamento de carreteras de Mississippi.

El método como se conoce en la actualidad surgió de la investigación de un cuerpo de ingenieros del ejército de los estados unidos en 1943.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación óptima de agregados. Este método también nos proporciona datos sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, establece densidades y un contenido óptimo de vacíos que deberán ser cumplidos en la construcción del pavimento.

Procedimiento para realizar el método Marshall.

Lo primero que se hace en este método es seleccionar un agregado y un asfalto que sean compatibles para buscar obtener estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, entre otras. Después se prepara el ensayo se reúnen algunas muestras de agregados y asfalto que puedan ser utilizados en la mezcla final. Porque los datos que se obtengan serán la receta para la mezcla de pavimentación, el resultado final de la mezcla será igual que el obtenido en el laboratorio si se emplean los mismos ingredientes.

Lo siguiente que hay que saber es la relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico para saber la temperatura de mezclado y compactado la cual se obtiene con la prueba de viscosidad que se le realiza al cemento asfáltico.

Preparación de la muestra.

Ahora pasamos a los agregados que se secan al horno a una temperatura de 110°C hasta que pierdan la humedad para posteriormente determinar su peso específico y sacar su granulometría, estas pruebas se pueden obtener con sus pasos a detalle en la norma ASSHTO T 11, ASSHTO T 100.

El peso específico es un punto clave para la determinación de las proporciones de agregado, asfalto y vacíos a usarse en los métodos de diseño.

La preparación de las muestras se realiza agregándole una pequeña diferencia de asfalto una de otra, la proporción de agregados de la muestra fue obtenida por nuestro análisis granulométrico.

Las muestras se preparan de la siguiente forma:

- 1) El asfalto y el agregado se calientan y se mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén cubiertas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurre en planta.
- 2) La mezcla asfáltica caliente se coloca en un molde previamente calentado Marshall como preparación para la compactación con el martillo Marshall el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.
- 3) Las probetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50 o 75) depende de la cantidad del tráfico para que la muestra este siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así en realidad una probeta de 35 golpes recibe 70 golpes, las de 50 golpes 100 golpes al completar la compactación, posteriormente se dejan enfriar y se extraen de los moldes.



Figura 2.7. Equipo Marshall, prensa y compactador

Existen tres procedimientos en el método Marshall. Estos son: determinación de peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas describe su procedimiento en la norma AASHTO T 209.

Determinación del Peso Especifico Total.- el peso específico total de cada probeta se toma cuando las muestras se han enfriado a temperatura ambiente. Con esta medición de peso específico podemos analizar densidad-vacios se describe su procedimiento en la norma AASHTO T 166.

Estabilidad y Fluencia.- El ensayo está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla se describe su procedimiento en la norma AASHTO T 245.

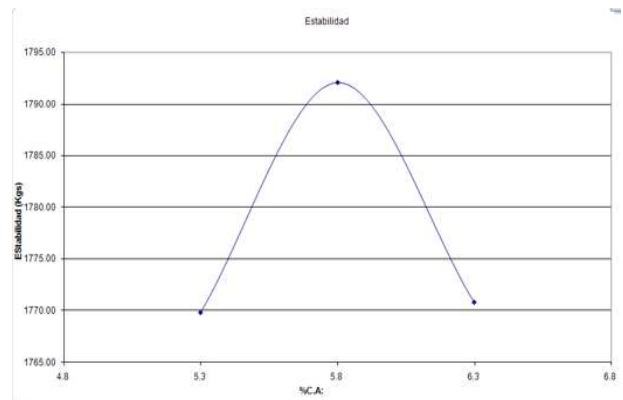
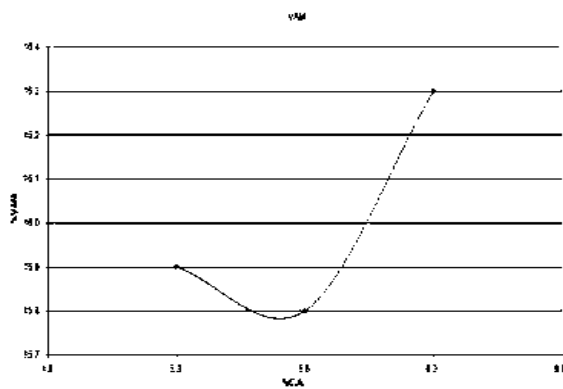
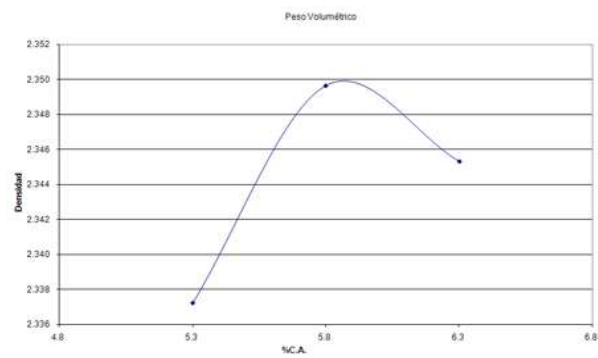
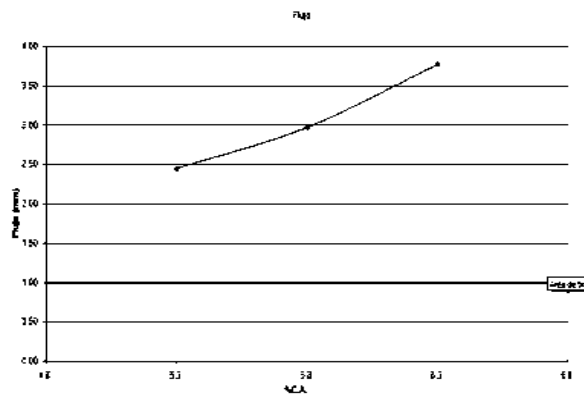
Valor de fluencia Marshall. Se mide en centésimas de pulgada, representa la deformación de la probeta. La deformación está indicada por la disminución del diámetro vertical de la probeta.

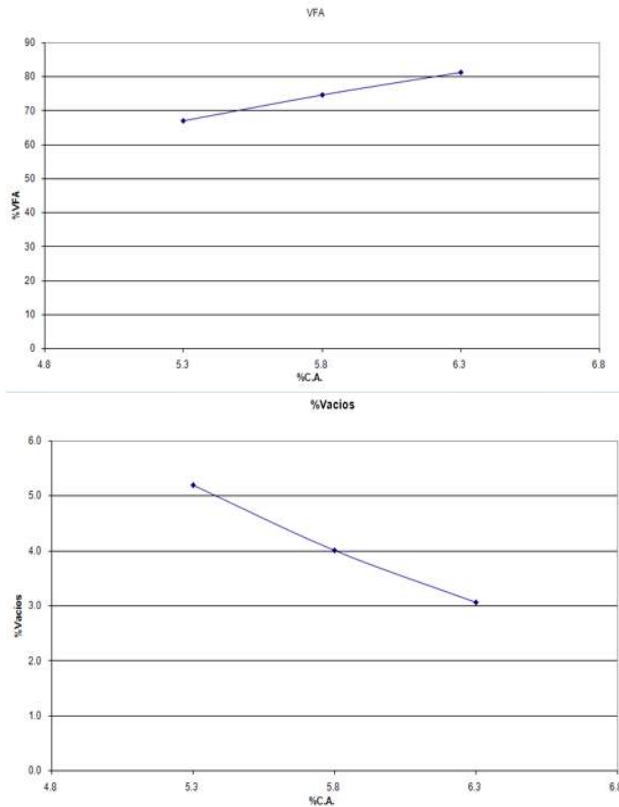
Las mezclas que tienen valores de fluencia bajos y valores de estabilidad muy altos son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Las que tienen fluencia alta son consideradas demasiado plásticas y tienden a deformarse fácilmente bajo las cargas del tráfico.

Análisis de la Densidad y Vacíos.- Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en mezcla compactada.

Los resultados de ensayo Marshall los podemos comparar por medio de graficas, para poder comprender mejor las características de cada probeta utilizada, las cuales nos pueden determinar cuál de las probetas cumple con los criterios establecidos para el pavimento requerido. Las proporciones de asfalto y agregado en esta probeta será la utilizada para la mezcla final.

A continuación se muestran algunas graficas de resultado de ensayo Marshall donde cada grafica tiene representada los resultados de las diferentes pruebas:





Fuente: SURFAX S.A. de C.V.

De las graficas anteriores se calcula el contenido óptimo de asfalto, promediando los siguientes valores:

- El contenido de asfalto que corresponde al mayor peso volumétrico.
- El contenido de asfalto que corresponde a la máxima estabilidad.
- El contenido de asfalto que corresponda al valor medio del porcentaje de vacios de la tabla mostrada.
- El contenido de asfalto que corresponda al valor medio del porcentaje de vacios ocupados por el asfalto.

Lo recomendable es que la mezcla que tenga el contenido de cemento asfáltico corresponda al promedio de los valores anteriores, reúna los requisitos de calidad.

La norma vigente para mezclas asfálticas por el método de diseño Marshall es la N-CMT-4-05-003-08 la cual indica lo mencionado en las siguientes tablas:

Tabla 2.2. Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa, diseñadas por el método Marshall.

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL ^[1]	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$ ^[2]
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (I_b), mínimo	5340 (1200)	8000 (1800)
Flujo; mm (10^{-2} in)	2 - 4 (8 -16)	2 - 3,5 (8 -14)
Vacios en la mezcla asfáltica (VMC); %	3-5	3-5
Vacios ocupados por el asfalto (VFA); %	65-78	65-75

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante la vida útil del pavimento. [2]
 Para tránsitos mayores de 107 ejes equivalentes de 8,2 t, se requiere un diseño especial de la mezcla.
 Fuente: Norma, N-CMT-4-05-003/08

Tabla 2.3. Vacios en el agregado mineral (VAM) para mezclas de granulometría densa, diseñada por el método Marshall.

Tamaño nominal del material pétreo utilizando en la mezcla ^[1]		Vacios en la mezcla asfáltica (VMC) de diseño %		
		3	4	5
mm	Designación	Vacios en el agregado mineral (VAM) %, mínimo		
9,5	3/8"	14	15	16
12,5	1/2"	13	14	15
19	3/4"	12	13	14
25	1"	11	12	13
37,5	1 1/2"	10	11	12

[1] El tamaño nominal corresponde al indicado en la Cláusula D. de la norma N•CMT•4•04. Materiales Pétreos para Mezclas Asfáltica, para el tipo y granulometría del material pétreo utilizado en la mezcla.
 Fuente: Norma, N-CMT-4-05-003/08

Lamentablemente el procedimiento de compactación del método de diseño Marshall en el laboratorio por impacto no simula la compactación en campo real, ni la estabilidad y el flujo no son representativos de las condiciones reales a las que está sometida la mezcla, pero su ventaja es que el equipo no es costoso y se puede llevar a campo para la elaboración de las probetas.

Método Hveem

Este método fue desarrollado por el ingeniero en materiales e investigación del California Department of Transportation Francis N. Hveem. El método nos ayuda para el diseño en laboratorio de mezclas asfálticas en caliente, así como para llevar un control de calidad en campo.

El método Hveem implica el análisis de densidad, estabilidad y la resistencia de la mezcla al hinchamiento por la presencia de agua. Las ventajas de este método es su compactación por amasado ya que asemeja el procedimiento de compactado en campo, y el parámetro de resistencia y estabilidad, son mas representativos que el método Marshall. La desventaja del procedimiento Hveem es que el equipo para el ensayo como el método de compactación por amasado y el estabilometro de Hveem es más costoso que el equipo Marshall y menos portable.

El principal objetivo del método es determinar el contenido óptimo de asfalto para la combinación específica de agregados, como también nos da información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica final. Sus agregados tienen tamaño máximo de 25.0mm (1pulgada) o menos.

El método Hveem utiliza una serie de pruebas para determinar el contenido óptimo de asfalto. Los procedimientos que el método incluye son:

- 1) Ensayo Equivalente Centrífugo de Kerosene (CKE) para determinar un contenido aproximado de asfalto.
- 2) Preparación de probetas de prueba con el contenido aproximado de asfalto, y con contenidos mayores y menores que el aproximado.
- 3) Ensayo de estabilidad para evaluar la resistencia a la deformación.
- 4) Ensayo de expansión para determinar el efecto del agua en el cambio de volumen y en la permeabilidad de la briqueta.

El método Hveem consiste en un material pétreo graduado al que se han incorporado diferentes cantidades de asfalto, las resistencias que ofrecen las mezclas ya compactadas a los esfuerzos laterales que se provocan al aplicarse una carga vertical, es función de la cantidad y tipo de asfalto utilizado en la mezcla. Lo importante de este método es que la compactación de las muestras es muy similar a la que se realiza en la colocación de la mezcla en campo.

La presión lateral se mide por medio del estabilometro el cual está diseñado para medir la estabilidad de una mezcla de prueba bajo esfuerzos específicos, donde los porcentajes varían de cero a cien, el cero corresponde a un líquido y el valor de cien a un cuerpo rígido que no transmite presión lateral.

El cohesimetro es el dispositivo que mide la resistencia cohesiva de la película de asfalto que cubre el agregado pétreo, sujeto a un esfuerzo de flexión a la misma muestra que se utilizo para medir estabilidad.

La prueba de expansión se realiza para garantizar la durabilidad del asfalto ya que el agua es el enemigo de todas las estructuras de pavimento ya que mide la cantidad de agua que se filtra dentro o atreves de la muestra y la cantidad de expansión que el agua causa. También mide la permeabilidad de la mezcla.

Se dibujan las graficas; peso volumétrico-% asfalto, % de vacios de la mezcla-% asfalto, valor del cohesimetro-% asfalto, estabilidad relativa-% asfalto, % de vacios del material pétreo-% asfalto. De estas graficas se selecciona la que el contenido de asfalto cumpla con los requerimientos mejor de acuerdo a la tabla siguiente:

Tabla 2.4. Requisitos de calidad para mezclas asfálticas de granulometría densa diseñada mediante el método Hveem.

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL [1]	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$ [2]
Valor de estabilidad (R) , mínimo	35	37
Expansión; mm (in), máximo	0,762 (0,03)	

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante la vida útil del pavimento. [2]
 Para tránsitos mayores de 10^7 ejes equivalentes de 8,2 t, se requiere un diseño especial de la mezcla.
 Fuente: Norma, N-CMT-4-05-003/08

CAPÍTULO 3.- MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

3.1.- CARACTERIZACIÓN DEL PÉTREO

Los agregados pétreos que se utilizan para la elaboración de una mezcla asfáltica son materiales naturales seleccionados o sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado.

La norma vigente para la caracterización de material pétreo para mezclas asfálticas es la N-CMT-4-04/08.

3.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El análisis granulométrico será según la mezcla a elaborarse en el proyecto ya sea para mezclas asfálticas de granulometría densa, mezclas asfálticas de granulometría abierta y las mezclas asfálticas de granulometría discontinua tipo SMA.

A continuación se describen los requisitos de calidad para el material pétreo de las mezclas anteriormente mencionadas.

Mezcla asfáltica de granulometría densa.

Este tipo de granulometría es utilizada en mezclas en caliente y en frío, Se utilizan agregados de granulometría continua, partiendo desde un tamaño máximo hasta el filler, de manera de tener un buen control del contenido de vacíos, logrando de esta forma una alta estabilidad.

Cuando el tránsito esperado es igual a 1 millón de ejes equivalentes o menor, su granulometría será la establecida en las tablas siguientes número de tabla 3.1 y 3.2, así como sus requisitos de calidad.

Tabla 3.1. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (únicamente para $\Sigma L \leq 10^6$)

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	9,5 (3/8)	12,5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37,5 (1 1/2)
		Porcentaje que pasa				
50	2"	---	---	---	---	100
37,5	1 1/2"	---	---	---	100	90-100
25	1"	---	---	100	90-100	76-90
19	3/4"	---	100	90-100	79-92	66-83
12,5	1/2"	100	90-100	76-89	64-81	53-74
9,5	3/8"	90-100	79-92	67-82	56-75	47-68
6,3	1/4"	76-89	66-81	56-71	47-65	39-59
4,75	N° 4	68-82	59-74	50-64	42-58	35-53
2	N° 10	48-64	41-55	36-46	30-42	26-38
0,85	N° 20	33-49	28-42	25-35	21-31	19-28
0,425	N° 40	23-37	20-32	18-27	15-24	13-21
0,25	N° 60	17-29	15-25	13-21	11-19	9-16
0,15	N° 100	12-21	11-18	9-16	8-14	6-12
0,075	N° 200	7-10	6-9	5-8	4-7	3-6

Fuente: Norma, N-CMT-4-04/08

Tabla 3.2. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (únicamente para $\Sigma L \leq 10^6$)

Característica	Valor
Densidad relativa, mínima	2,4
Desgaste de Los Ángeles; % máximo	35
Partículas alargadas y lajeadas; % máximo	40
Equivalente de arena; % mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

Fuente: Norma N-CMT-4-04/08

Para cuando el tránsito esperado es mayor a 1 millón de ejes equivalentes, su granulometría será la establecida en las tablas siguientes número de tablas 3.3 y 3.4, así como sus requisitos de calidad.

Tabla 3.3. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (para cualquier valor de ΣL)

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	9,5 (3/8)	12,5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37,5 (1 1/2)
		Porcentaje que pasa				
50	2"	---	---	---	---	100
37,5	1 1/2"	---	---	---	100	90-100
25	1"	---	---	100	90-100	74-90
19	3/4"	---	100	90-100	79-90	62-79
12,5	1/2"	100	90-100	72-90	58-71	46-60
9,5	3/8"	90-100	76-90	60-76	47-60	39-50
6,3	1/4"	70-81	56-69	44-57	36-46	30-39
4,75	Nº 4	56-69	45-59	37-48	30-39	25-34
2	Nº 10	28-42	25-35	20-29	17-24	13-21
0,85	Nº 20	18-27	15-22	12-19	9-16	6-13
0,425	Nº 40	13-20	11-16	8-14	5-11	3-9
0,25	Nº 60	10-15	8-13	6-11	4-9	2-7
0,15	Nº 100	6-12	5-10	4-8	2-7	1-5
0,075	Nº 200	2-7	2-7	2-5	1-4	0-3

Fuente: Norma, N-CMT-4-04/08

Tabla 3.4. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (para cualquier valor de ΣL)

Característica	Valor
Densidad relativa, mínima	2,4
Desgaste de Los Ángeles; % máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; % máximo	35
Equivalente de arena; % mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

Fuente: Norma N-CMT-4-04/08

Mezcla asfáltica de granulometría abierta.

Se utilizan pétreos de granulometría discontinua con bajo contenido de finos, obteniéndose una mezcla con un alto porcentaje de vacíos, lo que facilita el drenaje del agua, mejora la resistencia al deslizamiento y reduce el ruido.

La granulometría abierta regularmente se utiliza para mezclas en caliente, esta granulometría está directamente relacionada con el espesor de la carpeta como se muestra en las tablas siguientes así como la calidad que requiere.

Tabla 3.5. Requisitos granulométricos del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta.

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	Para espesores ≤ 4cm	Para espesores > 4cm
25	1"	---	100
19	3/4"	100	62-100
12,5	1/2"	65-100	45-70
9,5	3/8"	48-72	33-58
6,3	1/4"	30-52	22-43
4,75	Nº 4	18-38	14-33
2	Nº10	5-19	5-19
0,075	Nº200	2-4	2-4

Fuente: Norma, N-CMT-4-04/08

Tabla 3.6. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría abierta.

Característica ^[1]	Valor
Densidad relativa, mínima	2,4
Desgaste de Los Ángeles; % máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; % máximo	25
Equivalente de arena; % mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua; %, máximo	25

[1] El material debe ser 100% producto de trituración de roca sana

Fuente: Norma N-CMT-4-04/08

Mezcla asfáltica de granulometría discontinua, tipo SMA.

Se utilizan pétreos de granulometría discontinua con un bajo contenido de las fracciones intermedias y alto contenido de fracciones gruesas, obteniéndose una mezcla con un adecuado porcentaje de vacíos y buena trabazón mecánica entre las piedras, lo que permite

un mayor contenido de asfalto de alta viscosidad o modificado, que las mezclas densas. Normalmente se incorporan fibras para estabilizar la mezcla. Este tipo de carpeta posee una alta estabilidad, resistencia a la fatiga y envejecimiento, buen drenaje lateral del agua, resistencia a los deslizamientos y reducción del ruido.

Tabla 3.7. Requisitos granulométricos del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA.

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)		
Abertura mm	Designación	9,5 (3/8)	12,5 (1/2)	19 (3/4)
Porcentaje que pasa (en volumen)				
25	1"	---	---	100
19	3/4"	---	100	90-100
12,5	1/2"	100	90-100	50-88
9,5	3/8"	70-100	50-80	25-60
6,3	1/4"	43-68	29-50	20-38
4,75	Nº 4	30-50	20-35	18-28
2	Nº 10	19-27	15-23	15-23
0,85	Nº 20	16-20	13-20	13-20
0,075	Nº 200	8-12	8-11	8-11

Fuente: Norma, N-CMT-4-04/08

Tabla 3.8. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua, tipo SMA.

Característica		Valor
GRAVA		
Desgaste de Los Ángeles; % máximo		25
Partículas alargadas y lajeadas; % máximo		25
Intemperismo acelerado, % máximo	en sulfato de sodio	15
	en sulfato de magnesio	20
	una cara	100
Partículas triturada, %, mínimo	dos o más caras	90
Absorción, %, máximo		2
Desprendimiento por fricción (método B), %, máximo		10
ARENA Y FINOS		
Equivalente de arena; %, mínimo		55
Índice plástico, %, máximo		No plásticos
Azul de metileno, mg/g, máximo		12

Fuente: Norma N-CMT-4-04/08

3.1.2 DENSIDAD

La densidad nos permite conocer la masa del sólido por unidad de volumen de dicho sólido sin vacíos, en cada una de sus fracciones, arena con finos o grava, esto con respecto a la densidad del agua.

La densidad de los agregados para finos y grava se realiza por separado, para los finos consiste en eliminar el aire atrapado en la muestra de la prueba, al estar sumergida totalmente en agua destilada en ebullición, para obtener su densidad relativa.

Para la grava la prueba consiste en introducir la muestra en un depósito de agua destilada, para determinar el volumen que desplaza, para cuando se compara con el volumen de dicha masa seca de la muestra, obtener su masa por unidad de volumen y al compararla con la densidad del agua, podemos obtener su densidad relativa.

Este ensayo se encuentra en la normativa de ensayo M-MMP-4-04-003/02.

Este factor es importante para el diseño de mezcla, ya que con él podemos determinar la cantidad de agregado requerido para un volumen unitario de nuestra mezcla asfáltica.

Para el cálculo de la densidad para el agregado grueso se calculan de la siguiente manera:

- Densidad Aparente

$$D = A / [B - C]$$

Donde

A es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (grs)

B es la masa en el aire de la muestra de ensayo saturada y superficialmente seca (grs)

C es la masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (grs)

D densidad grs / cm³

Para el agregado fino la densidad se calcula de la siguiente manera:

- Densidad Aparente

$$D_{\text{aparente}} = A / [B + S - C]$$

Donde

A es la masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno (grs)

B es la masa del picnómetro lleno con agua

S es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca (grs)

C es la masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (grs), y

D densidad grs / cm³

3.1.3 DUREZA

La resistencia a la dureza, desgaste, o abrasión de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar duros.

La dureza es el porcentaje perdido de un agregado sometido a abrasión en la máquina de los ángeles. La prueba estima la resistencia del agregado grueso a la degradación mecánica durante el manejo, construcción y su vida útil. Es llevado a cabo sometiendo al agregado grueso (retenido en la malla N.8) a degradarlo por impacto con esferas de acero y un tambor giratorio. El resultado es el porcentaje en peso del material grueso perdido durante la degradación mecánica.

Este ensaye se encuentra en la normativa de ensayo M-MMP-4-04-006/02

3.2.- CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO

3.2.1 VISCOSIDAD DINÁMICA

Consiste en la determinación de la viscosidad absoluta del producto a 60°C.

De acuerdo con el ingeniero Fernando Sánchez Sabogal, Ligantes Bituminosos, Módulo 8. Cuando las pruebas se realizan sobre el asfalto original se designan como AC-2.5; AC-5; AC-10; AC-20 y AC 40 el número de identificaciones es la centésima parte de la viscosidad deseada a 60°C, en Poises.

También se designan como AR1000, AR2000, AR4000, AR8000 y AR1600, cuando se efectúan sobre muestras de asfaltos sometidos a un ensayo de envejecimiento acelerado es la viscosidad deseada a la misma temperatura, en Poises.

Cuando se escoge un asfalto por su viscosidad los aspectos a considerar son que para climas fríos, hay que tener un asfalto con menor viscosidad para brindar mayor flexibilidad para soportar el agrietamiento térmico abaja temperatura, en tanto que si el clima es cálido se eligen ligantes de mayor viscosidad para contribuir en la resistencia de las mezclas a la de formación permanente.

La prueba de viscosidad tiene por finalidad determinar la viscosidad del cemento asfáltico a la temperatura más alta que el pavimento suele experimentar durante su servicio. Este ensaye se encuentra en la normativa de ensayo M-MMP-4-05-002/02.

Ventajas de la clasificación por viscosidad.

- La viscosidad es una propiedad fundamental del asfalto
- La evaluación se realiza en un amplio rango de temperaturas
- La evaluación considera la máxima temperatura de la superficie del pavimento
- Se tiene en cuenta la susceptibilidad térmica
- Se dispone de información sobre las temperaturas de mezcla y compactación

Desventajas de la clasificación por viscosidad.

- La clasificación no es válida para asfaltos no newtonianos
- Asfaltos ubicados en el mismo grado pueden presentar un amplio rango de propiedades

3.2.2 CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL GRADO PG.

Consiste en el desempeño previsto del ligante y lo especifica en función de las condiciones climáticas extremas y la magnitud del tráfico a la que se estará sometida durante su vida útil, en que presenta propiedades físicas adecuadas. Se designan con las siglas PG, acompañadas de dos números que indican las temperaturas máximas y mínimas de diseño, que se esperan en el lugar de su aplicación, para un desempeño adecuado, para resistir deformaciones o agrietamiento por temperaturas bajas o por fatiga, con ensayos que simulan el 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. La norma vigente para la caracterización de material pétreo para mezclas asfálticas es la N-CMT-4-05-004/05.

El sistema de grados de comportamiento (PG) define los límites de temperatura dentro de los cuales es previsible el buen comportamiento del cemento asfáltico. El grado por escoger depende de las condiciones ambientales. El sistema de grados de comportamiento (PG) define los límites de temperatura dentro de los cuales es previsible el buen comportamiento del cemento asfáltico.

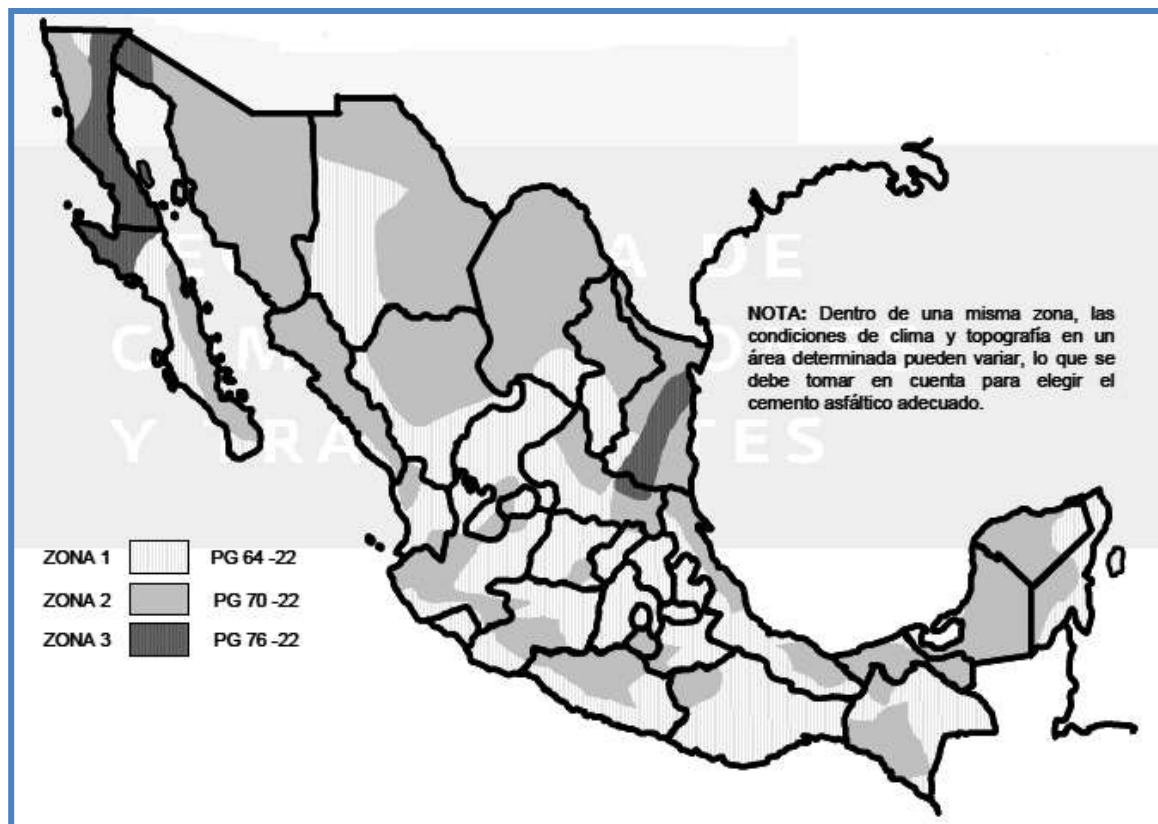


Figura 3.1. Regiones geográficas para la utilización recomendable de cementos asfálticos Grado PG. Fuente: Norma, N-CMT-4-05-004/08.

Existen una gran variedad de Grados PG gracias a la amplia gama de temperaturas que se registran en el país, sin embargo para fines prácticos se recomienda utilizar uno de los tres cementos asfálticos de Grado PG que se muestran en la figura.

3.2.3 MÉTODO UCL[®]

Este método está basado en el estudio de la cohesión proporcionada por los elementos de una mezcla patrón y su variación por efecto de la temperatura, la presencia de agua o por su envejecimiento.

En el método UCL[®] se valora la adhesividad y la cohesión a partir de la resistencia a la abrasión de una mezcla de referencia con características definidas, variando la temperatura de ensayo de las probetas.

El ensayo consiste en introducir en la máquina de Los Ángeles, una probeta tipo Marshall fabricada con una granulometría especial (sin finos) del cual el 80% es agregado pétreo del tamaño 2.5/5 mm (malla N.4 y malla N.8), 20% es agregado pétreo del tamaño 0.63/2.5mm (malla N.8 y malla N.30) y un contenido de asfalto definido (4,5%) y someterla al ensayo sin colocar en el tambor ninguna carga abrasiva (esferas).

Cuando la probeta se encuentra en el interior del tambor de los Ángeles es sometida ha impacto y abrasión contra sus paredes, en un proceso de deterioro, cuya energía se aplica para deformar elástica y plásticamente la mezcla, menos será su tenacidad y mayor su pérdida en el cántabro.

Después de someterla a 300 revoluciones del tambor, donde durante el ensayo se van desprendiendo por impacto y abrasión el pétreo más superficiales de la probeta se determinarán su pérdida de peso, en %, referido al peso inicial de la probeta.

El cual podemos obtener con la siguiente ecuación:

$$Pd = [(Pi - Pf) / Pi] \times 100$$

Donde: Pd= Pérdida por Desgaste en %

Pi= Peso Inicial (grs)

Pf= Peso Final (grs)

Una parte de la energía que se genera en cada impacto es absorbida por las deformaciones elásticas del material, otra parte se elimina con la deformación plástica y el resto que no pueden eliminar las probetas, es la que causa la fisuración, rotura o disgregación.

Las revoluciones en la máquina de los Ángeles provocan el deterioro en las probetas, similar a las que hacen las cargas del tráfico en los pavimentos.

Se cambiaron las condiciones de ensayo a las que se someten las probetas antes del mismo, donde se analiza la cohesión con la temperatura, la adhesividad petreo-asfalto y la resistencia al envejecimiento, propiedades importantes para la evaluación de un ligante asfáltico.

4.- ANÁLISIS DE ASFÁLTOS MEDIANTE EL ENSAYO UCL[®].

Se analizaron mediante la realización de probetas tipo Marshall por el método UCL[®] (Método Universal de Caracterización de Ligantes) los siguientes asfaltos:

Asfalto AC-20 Salamanca
Asfalto AC-20 Tula
Asfalto AC-20 Salina Cruz

Tabla 4.1. Se realizaron 15 probetas para cada asfalto, para los parámetros que se analizaron: efecto de temperatura, efecto del agua y efecto de envejecimiento.

Método de Análisis	Parámetro de Análisis	Número de Probetas	Total de probetas
Efecto temperatura	-10 °C	3	15
	5 °C	3	
	20 °C	3	
	40 °C	3	
	60 °C	3	
Efecto del agua	-10°C	3	15
	5 °C	3	
	20 °C	3	
	40 °C	3	
	60 °C	3	
Efecto de envejecimiento	2 hrs.	3	15
	4 hrs.	3	
	8 hrs.	3	
	16 hrs.	3	
	32 hrs.	3	
TOTAL DE PROBETAS POR ASFALTO =			45

TOTAL DE PROBETAS PARA LOS 3 ASFALTOS= 135

Tabla 4.2. Material utilizado para la fabricación de las probetas para cada asfalto:

Material	Cantidad por probeta (grs)	Total para 45 probetas (grs)	Total para 135 probetas (grs)
Pétreo fracción gruesa	720	32,400	97,200
Pétreo fracción fina	180	8,100	24,300
Asfalto AC-20 Salamanca	41	1,845	5,535
Asfalto AC-20 Tula	41	1,845	5,535
Asfalto AC-20 Salina Cruz	41	1,845	5,535

Preparación del material pétreo empleado en la elaboración de las probetas Marshall.

Se utilizó material pétreo de un banco de materiales del municipio de Tarimbaro, Michoacán México ya que cumple con todas las normas para la elaboración de mezclas asfálticas.

El material pétreo que corresponde a la fracción gruesa se obtuvo al cribar el material en forma manual por la malla N.4 y la malla N.8 el retenido entre estas es el que nos proporciona el tamaño 2.5/5 mm necesario para la fabricación de las probetas.

Cribado.



Figura 4.1



Figura 4.2

La fracción fina se obtuvo de la misma manera pero cribando nuestro material por la malla N.8 y malla N.30 para obtener un tamaño de 0.63/2.5mm como lo establece el método UCL[®] para la elaboración de las probetas.



Figura 4.3



Figura 4.4

El material resultante producto de estas cribas se lavo mediante un chorro de agua que cae directamente en el material el cual está retenido por la de la malla N.8 para la fracción gruesa y para la fracción fina la malla N. 30 cada fracción es lavada por separado para eliminar el polvo adherido. Como se muestra en las imágenes siguientes:

Lavado del Material Pétreo

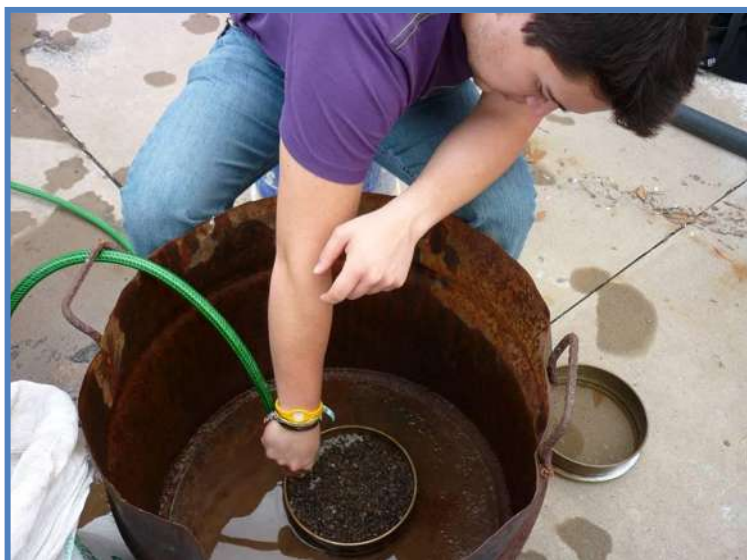


Figura 4.5



Figura 4.6

Para el secado del material se limpia perfectamente el área donde será extendido, con el fin de evitar que se contamine.

Limpieza para extender el material.



Figura 4.7



Figura 4.8

Lista el área libre de polvo o de algún otro contaminante procedemos a extender nuestro material para su secado al sol.



Figura 4.9.



Figura 4.10.

Cuando nuestro material se encuentra seco y limpio procedemos a encostarlo para el traslado al laboratorio para la elaboración de las probetas y así evitar su contaminación.

El procedimiento utilizado para la realización de las probetas es el siguiente:

1.- Se pesa el material pétreo y se colocará en charolas para introducirlas en el horno eléctrico a una temperatura de 140 °C durante 24 horas para que el material quede completamente seco, además se introducirán en el horno eléctrico el equipo a utilizar como bases, moldes y collarines, para que estén a la misma temperatura del pétreo.



Figura 4.11. Pesado de material pétreo fracción gruesa



Figura 4.12. Pesado de material pétreo fracción gruesa y fina



Figura 4.13. Material pétreo, como bases, moldes y collarines.

2.- Se colocará el asfalto a emplear dentro del horno 2 horas antes de la elaboración de las pastillas.

Antes de iniciar la preparación de las probetas se prepara el material de la siguiente manera:

3.- Se prepara la báscula electrónica se coloca la charola en ella y se tara para que este en ceros.



Figura 4.14.

Se instala el contador en la máquina compactadora Marshall se programa a 50 golpes y se enciende.



Figura 4.15.

Se enciende la parrilla.

Se realizan bases de papel con la medida del diámetro interior del molde, se requieren 2 por probeta.



Figura 4.16.

4.- Se sacan las charolas con el material pétreo del horno y se colocan en la báscula para agregar el asfalto que también se encuentra en el horno.



Figura 4.17.

5.- Se coloca la charola en la parrilla para proceder a mezclar los materiales hasta lograr una mezcla uniforme.



Figura 4.18.

6.- Para verter la mezcla en el molde se sigue el siguiente procedimiento:

Se extrae del horno el molde (base, molde y collarín)

Se arma el molde colocando en primer lugar la base, enseguida la base y por último el collarín

Se coloca la base de papel en el molde



Figura 4.19.

7.- Se coloca la mezcla en el molde con precaución para no tener algún derrame de la mezcla, se coloca otra base de papel.



Figura 4.20.

8.- Se coloca el molde con la mezcla asfáltica en la base de la máquina del compactador Marshall y se procede a la compactación de la probeta con 50 golpes por cara.



Figura 4.21.

9.- Se retira el molde de la máquina de compactación Marshall



Figura 4.22.

10.- Se desarma el molde, regresando la base y el collarín al horno.



Figura 4.23.

11.- Se retiran las bases de papel de las probetas y se deja enfriar la probeta.



Figura 4.24.

12.- Ya que se enfrió la probeta se desmonta del molde con la ayuda de un collarín y un pizón, se coloca el collarín debajo del molde y se golpea ligeramente con el pizón hasta que sea extraída la probeta.



Figura 4.25.

13.- Se procede a limpiar el equipo para la realización de las siguientes probetas.



Figura 4.26.

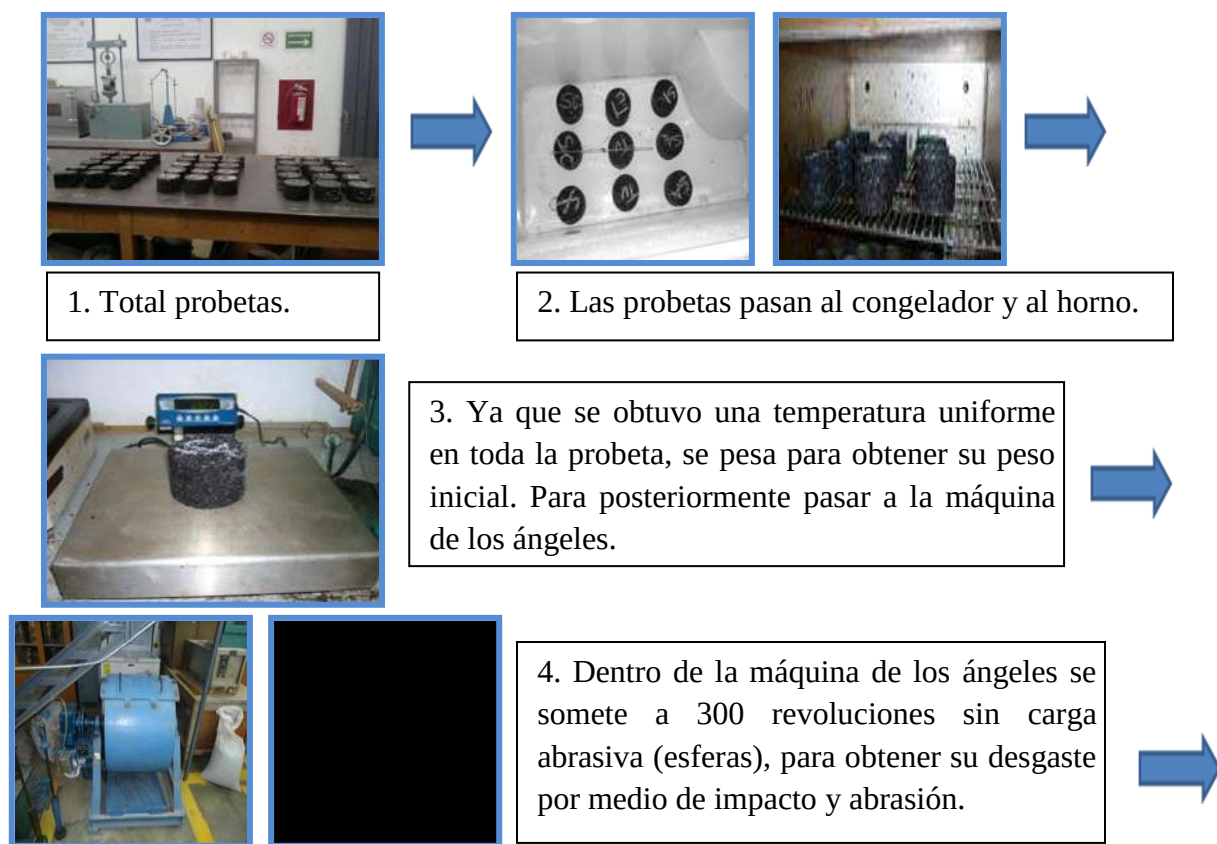
Curvas de estado.

Cohesión, Temperatura-Desgaste.

Donde la temperatura se fue variando de (-10, 5, 20, 40, y 60 ° C) con la máquina de los ángeles para obtener la curva de estado del asfalto, con la que podemos apreciar la variación de su comportamiento a altas temperaturas y a bajas temperaturas. Donde podemos definir en la curva de estado de los asfaltos a que temperatura tiene mejor comportamiento así como sus diferencias, también podemos valorar la cohesión y el poder aglomerante del asfalto, también sirve para evaluar su tenacidad y resistencia a la fatiga.

Con esto podemos tener una idea de su comportamiento en servicio y seleccionar la temperatura adecuada con la que nuestra mezcla tendrá un mejor comportamiento y evitar problemas de fragilidad a baja temperatura, la máxima pérdida a temperatura media de servicio, para controlar su falla por fatiga, y la mínima cohesión a la temperatura más alta de servicio, para evitar la excesiva deformación plástica a alta temperatura.

Procedimiento.





5. Al terminar el proceso de desgaste en las maquina de los ángeles se extrae la probeta para de esta manera poder determinar la perdida de la misma.



Comparación de una probeta antes de iniciar el ensayo por medio del método UCL[®], con una probeta ya sometida al mismo.



Probetas después de haber sido sometidas al ensayo por medio del método UCL[®], con una temperatura de - 10°C.

Al ensayar todas las probetas de los distintos asfaltos se puede trazar una curva de estado para evaluar cual es el asfalto que obtuvo mejores resultados.

Envejecimiento, Tiempo- Desgaste.

El envejecimiento en el método UCL se basa en determinar la resistencia a la disgregación de la mezcla por medio de la prueba del cántabro, conforme se va envejeciendo el asfalto. La oxidación se da al dejar la probeta en el horno a 163°C durante diferentes periodos de tiempo.

La resistencia al envejecimiento del asfalto se evalúa con la pendiente de curva pérdidas-tiempo de envejecimiento.

Procedimiento.



1. Total probetas.



2. La probeta se protege envolviéndola con malla metálica sujeta por alambre, para que conserve su forma durante el proceso de envejecimiento.



3. Listas las probetas se introducen al horno para iniciar el proceso de envejecimiento, el cual consiste en permanecer en el horno a una temperatura de 163°C , durante diferentes periodos de tiempo.



4. Después de pasar por el procedimiento de envejecimiento se les quita la protección de la malla con el alambre para esperar a que se enfríen las probetas.



5. Ya que se enfrió la probeta se pesa para obtener el peso inicial, posteriormente se introduce en la máquina de los ángeles.



6. Al paso de las 300 revoluciones dentro de la máquina de los ángeles la pastilla es deformada elástica y plásticamente, al término de las revoluciones se extrae la pastilla y se pesa nuevamente para obtener la pérdida por desgaste.



Al haber ensayado todas las probetas mediante el método UCL[®] podemos realizar una curva de estado de cada uno de los asfaltos y así poder apreciar cuál de ellos obtuvo el mejor comportamiento.

Adhesividad, Temperatura-Desgaste.

La función del asfalto además de envolver los agregados para dar cohesión a la mezcla, debe resistir las acciones nocivas del agua, como lo es la separación del asfalto con los agregados disminuyendo así la cohesión.

Con el método UCL[®] podemos evaluar la adhesividad del agregado con el asfalto determinando las pérdidas de la mezcla cuando esta se ensaya en seco o tras estar cierto tiempo sumergida en agua. La menor y mayor adhesividad están relacionadas directamente con el asfalto.

Procedimiento.



2. Las probetas pasan a un pre tratamiento de baño María, por un periodo de 24 horas con una temperatura de 60°.



1. Total probetas.



3. Después del baño María, esperamos a que las probetas se encuentren completamente secas, y se pasan al congelador y horno según sea a la temperatura que será el ensayo.



4. Al obtener una temperatura uniforme en toda la probeta se pesa para la obtención del peso inicial.





5. Ya que tenemos el peso inicial, la probeta es introducida a la máquina de los ángeles.



6. Al terminar el proceso en la máquina de los ángeles se pesa la probeta para obtener su desgaste.

4.1.- RESULTADOS DEL MÉTODO UCL[®], COHESION, TEMPERATURA-DESGASTE.

Una vez que ya tenemos fabricadas todas las probetas con los diferentes asfaltos: Salamanca, Tula, Salina Cruz, se procede a obtener las pérdidas por desgaste mediante el procedimiento descrito con anterioridad en el capítulo 3.2.3 MÉTODO UCL[®] a diferentes temperaturas (-10, 5, 20, 40, 60 °C).

A continuación se presenta la tabla 4.3, 4.4, 4.5 y en la figura 4.27., 4.28., 4.29. de cada uno de los asfaltos, se muestran los resultados del estudio.

Tabla 4. 3. Resultados de las probetas fabricadas con AC-20 de la refinería Salamanca

ASFALTO AC-20 DE SALAMANCA					
TEMPERATURA (°C)	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Gr)	PESO FINAL (Gr)	PÉRDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
-10	1	925	325	64.86	63.79
	2	923	286	69.01	
	3	922	392	57.48	
5	4	923	372	59.70	57.79
	5	919	399	56.58	
	6	909	390	57.10	
20	7	914	550	39.82	36.11
	8	921	557	39.52	
	9	925	657	28.97	
40	10	915	824	9.95	10.44
	11	918	823	10.35	
	12	917	816	11.01	
60	13	909	811	10.78	17.35
	14	922	722	21.69	
	15	919	739	19.59	

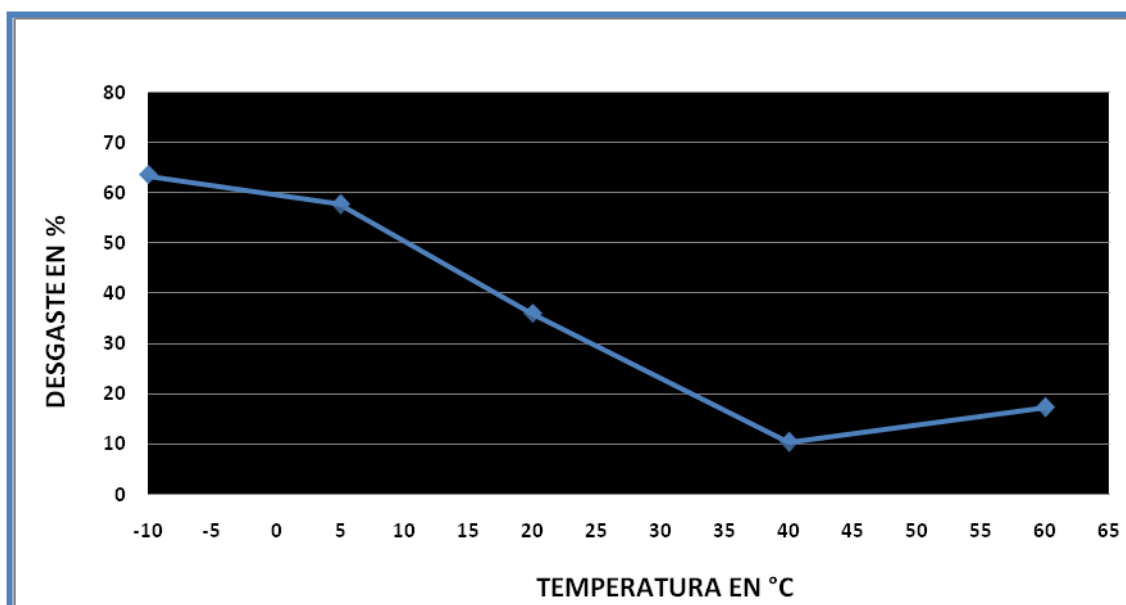


Figura 4.27. Desgaste a diferentes temperaturas con asfalto tipo AC-20 Salamanca.

Tabla 4.4. Resultados de las probetas fabricadas con asfalto tipo AC-20 de la refinería Tula

ASFALTO AC-20 DE TULA					
TEMPERATURA (°C)	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Gr)	PESO FINAL (Gr)	PÉRDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
-10	1	909	426	53.14	56.13
	2	920	370	59.78	
	3	932	415	55.47	
5	4	928	664	28.45	38.24
	5	920	512	44.35	
	6	916	532	41.92	
20	7	925	776	16.11	18.01
	8	935	775	17.11	
	9	927	734	20.82	
40	10	919	809	11.97	15.29
	11	919	750	18.39	
	12	928	784	15.52	
60	13	926	287	69.01	64.45
	14	908	303	66.63	
	15	915	387	57.70	

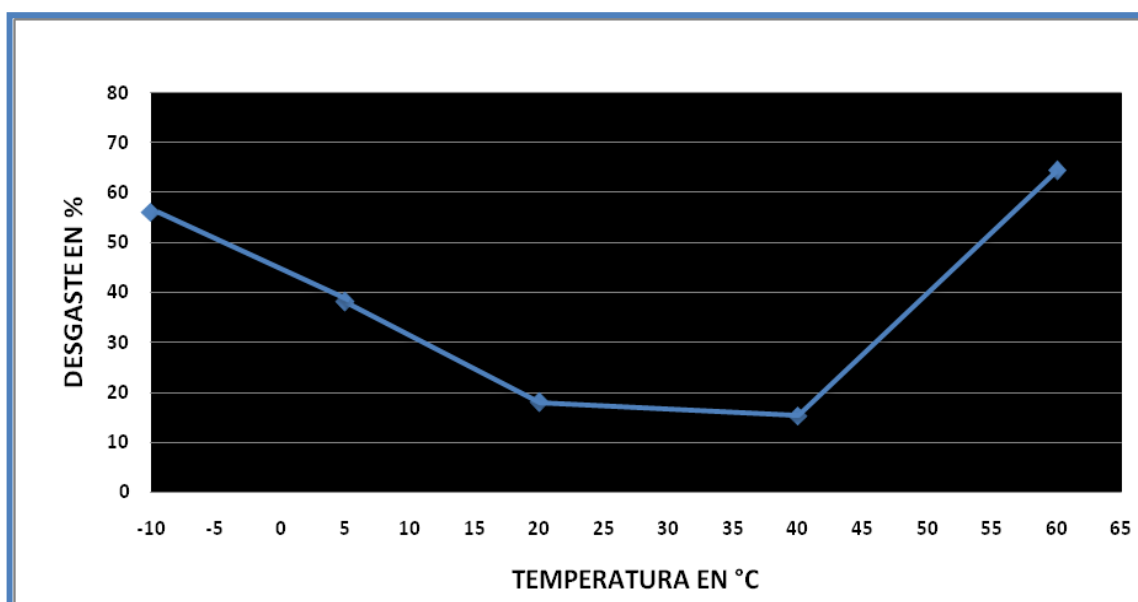


Figura 4.28. Desgaste a diferentes temperaturas con asfalto tipo AC-20 Tula.

Tabla 4.5. Resultados de las probetas fabricadas con asfalto tipo AC-20 de la refinería Salina Cruz

ASFALTO AC-20 DE SALINA CRUZ					
TEMPERATURA (°C)	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Gr)	PESO FINAL (Gr)	PÉRDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
-10	1	930	447	51.94	55.36
	2	930	423	54.52	
	3	924	373	59.63	
5	4	928	627	32.44	39.05
	5	930	560	39.78	
	6	928	511	44.94	
20	7	929	800	13.89	13.70
	8	925	791	14.49	
	9	928	810	12.72	
40	10	916	737	19.54	20.15
	11	921	776	15.74	
	12	914	684	25.16	
60	13	919	269	70.73	73.75
	14	921	132	85.67	
	15	922	324	64.86	

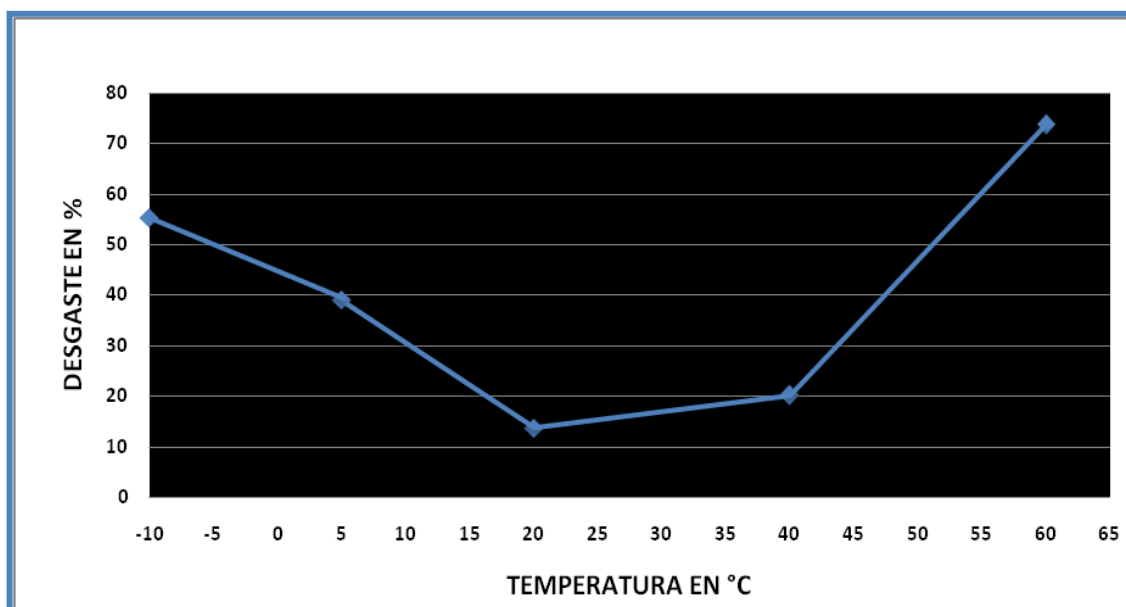


Figura 4.29. Desgaste a diferentes temperaturas con asfalto tipo AC-20 Salina Cruz.

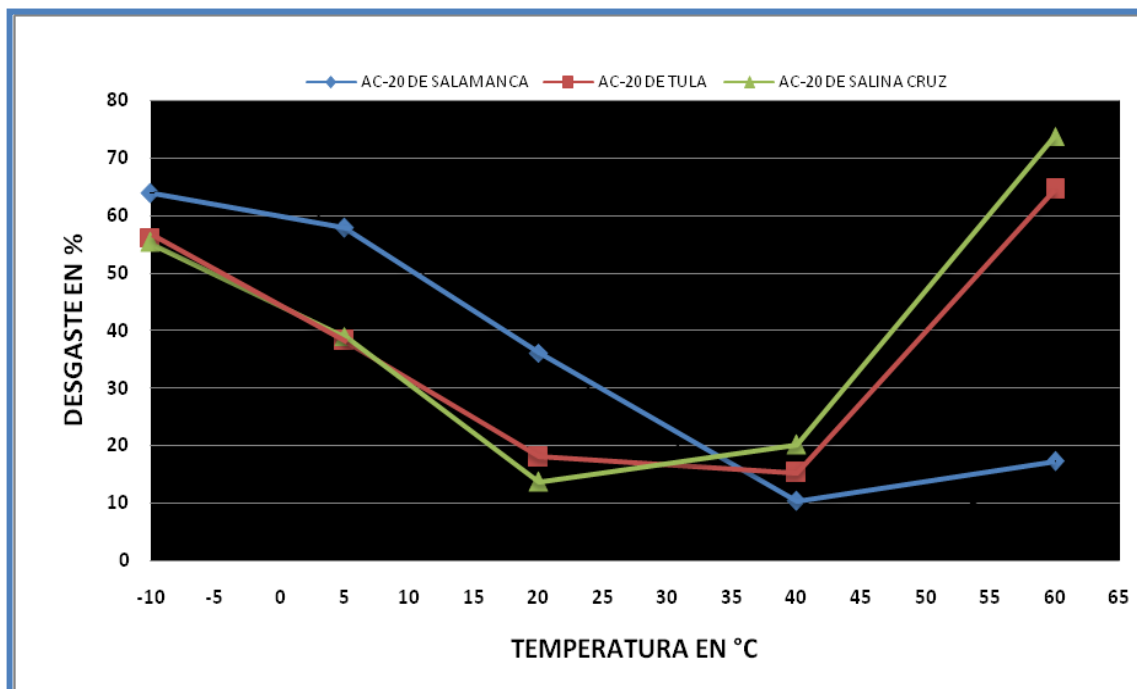


Figura 4.30. Resultados general de las combinaciones estudiadas de material pétreo, con los distintos asfaltos tipo AC-20 sometidos a desgaste con diferentes temperaturas.

Con los resultados de las tablas anteriores concluimos los ensayos de cada una de las mezclas ensayadas a diferentes temperaturas, presentando los porcentajes de desgaste y graficándolos para poder apreciar con mayor detalle el comportamiento del agregado pétreo en combinación con los distintos asfaltos.

En la figura 4.30., podemos comparar los resultados anteriores y apreciar mejor el tipo de combinación que mejor se comporta ante el desgaste, y poder elegir la mezcla asfáltica con mejores resultados.

4.2.- RESULTADOS DEL MÉTODO UCL® ENVEJECIMIENTO, TIEMPO-DESGASTE.

Una vez que ya tenemos fabricadas todas las probetas con los diferentes asfaltos: Salamanca, Tula, Salina Cruz, se procede a obtener las pérdidas por desgaste mediante el procedimiento de oxidación, se da al dejar la probeta en el horno a 163°C durante diferentes periodos de tiempo.

La resistencia al envejecimiento del asfalto se evalúa con la pendiente de curva pérdidas-tiempo de envejecimiento.

A continuación se presenta la tabla 4.6, 4.7, 4.8 y figura 4.31., 4.32., 4.33. de cada uno de los asfaltos donde se muestran los resultados del estudio.

Tabla 4.6. Resultados de las probetas fabricadas con asfalto tipo AC-20 de la refinería Salamanca, sometidas a desgaste por envejecimiento.

ASFALTO AC-20 DE SALAMANCA					
TIEMPO (HR)	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Gr)	PESO FINAL (Gr)	PÉRDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
2	1	910	524	42.42	44.01
	2	916	516	43.67	
	3	912	493	45.94	
4	4	911	309	66.08	65.71
	5	921	333	63.84	
	6	918	301	67.21	
8	7	923	134	85.48	83.07
	8	933	195	79.10	
	9	924	142	84.63	
16	10	922	98	89.37	83.87
	11	918	146	84.10	
	12	919	201	78.13	
32	13	920	0	100.00	100.00
	14	914	0	100.00	
	15	918	0	100.00	

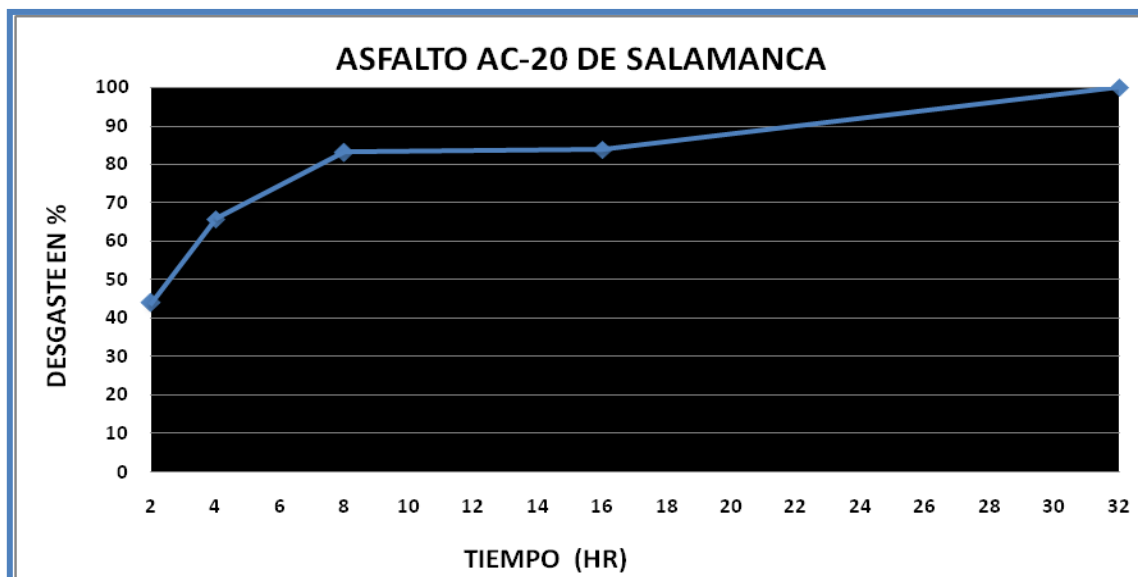


Figura 4.31. Curva de desgaste, con asfalto tipo AC-20 Salamanca tiempo de envejecimiento (horas)

Tabla 4.7. Resultados de las probetas fabricadas con asfalto tipo AC-20 de la refinería Tula, sometidas a desgaste por envejecimiento.

ASFALTO AC-20 DE TULA					
TIEMPO (HR)	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Gr)	PESO FINAL (Gr)	PÉRDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
2	1	924	719	22.19	26.81
	2	917	620	32.39	
	3	921	683	25.84	
4	4	912	492	46.05	42.21
	5	921	546	40.72	
	6	918	552	39.87	
8	7	926	230	75.16	77.99
	8	923	225	75.62	
	9	922	155	83.19	
16	10	921	269	70.79	78.61
	11	925	198	78.59	
	12	923	125	86.46	
32	13	920	0	100.00	100.00
	14	916	0	100.00	
	15	923	0	100.00	

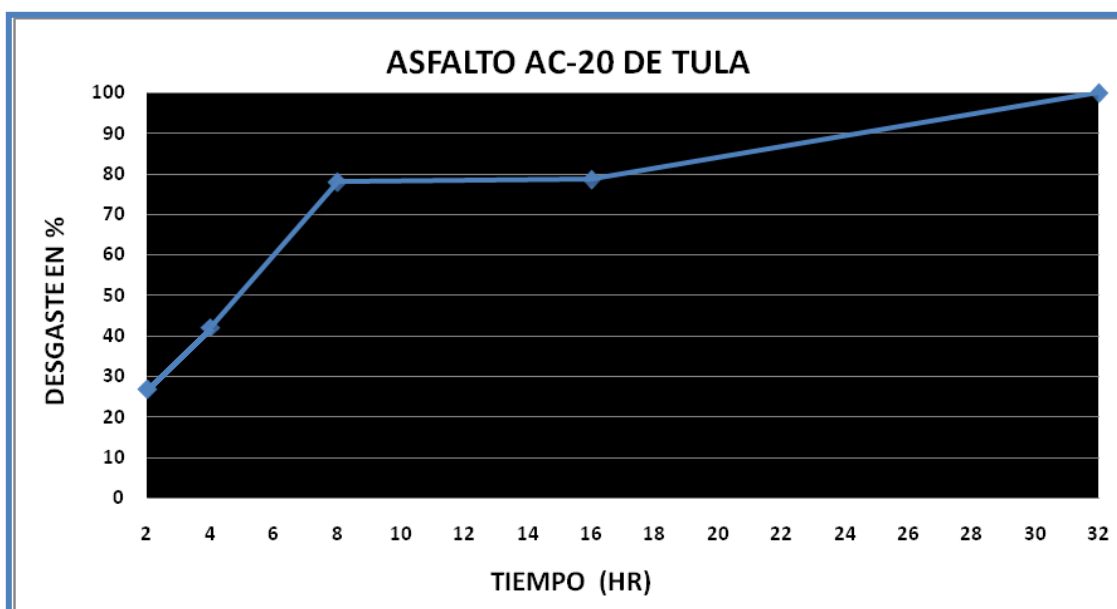


Figura 4.32. Curva de desgaste, con asfalto tipo AC-20 Tula, tiempo de envejecimiento (horas)

Tabla 4.8. Resultados de las probetas fabricadas con AC-20 de la refinería Salina Cruz, sometidas a desgaste por envejecimiento.

ASFALTO AC-20 DE SALINA CRUZ					
TIEMPO (HR)	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Gr)	PESO FINAL (Gr)	PÉRDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
2	1	918	779	15.14	17.00
	2	918	734	20.04	
	3	917	772	15.81	
4	4	911	222	75.63	74.26
	5	936	251	73.18	
	6	922	240	73.97	
8	7	915	198	78.36	78.21
	8	912	184	79.82	
	9	917	216	76.44	
16	10	915	196	78.58	79.11
	11	920	114	87.61	
	12	918	265	71.13	
32	13	905	0	100.00	100.00
	14	909	0	100.00	
	15	912	0	100.00	

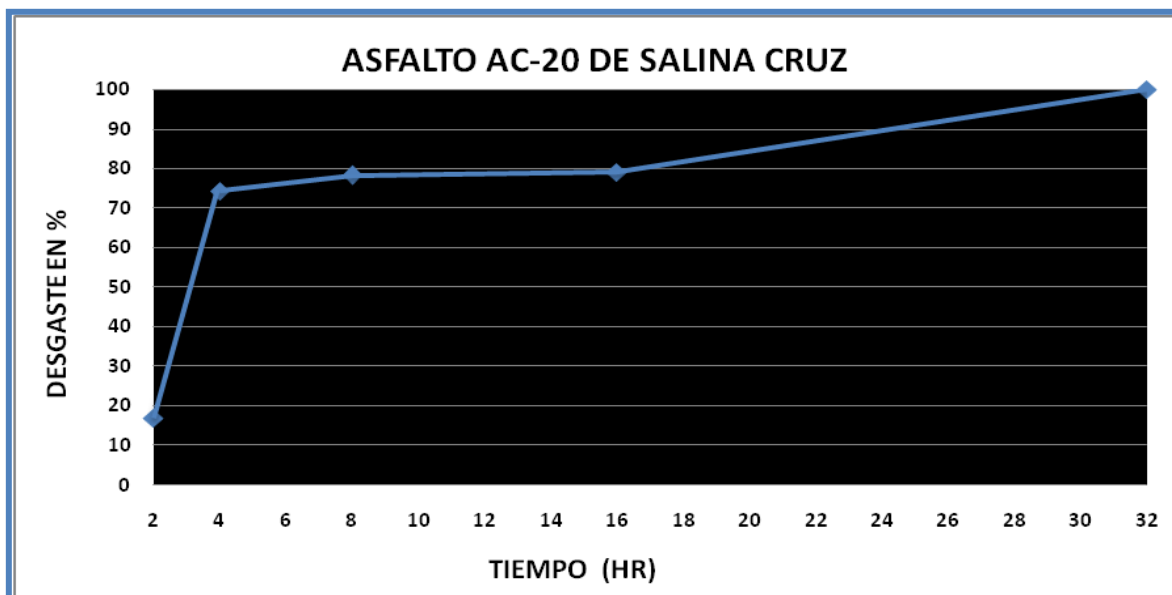


Figura 4.33. Curva de desgaste, con asfalto tipo AC-20 Salina Cruz, tiempo de envejecimiento (horas)

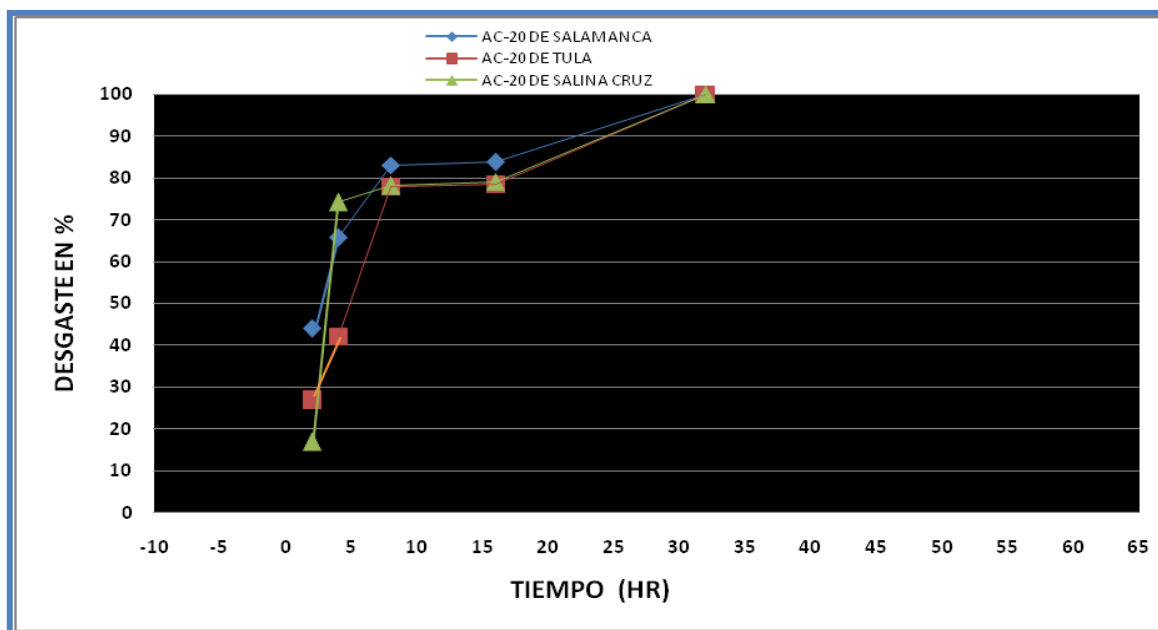


Figura 4.34. Resumen general de resultados de las combinaciones estudiadas de material pétreo, con los distintos asfaltos AC-20 sometidos a envejecimiento a diferente tiempo en el horno a 163°C.

Con los resultados de las tablas anteriores concluimos los ensayos de cada una de las mezclas ensayadas a envejecimiento en el horno a 163°C a diferentes horas, presentando los porcentajes de desgaste y graficándolos para poder apreciar con mayor detalle el comportamiento del agregado pétreo en combinación con los distintos asfaltos.

En la figura 4.34. podemos comparar los resultados anteriores y apreciar mejor el tipo de combinación que mejor se comporta ante el desgaste después del envejecimiento de la mezcla, así como apreciar el daño causado por la oxidación al pasar de las horas de la mezcla asfáltica en el horno a 163°C .

4.3.- RESULTADOS DEL MÉTODO UCL® ADHESIVIDAD, TEMPERATURA-DESGASTE.

Una vez que ya tenemos fabricadas todas las probetas con los diferentes asfaltos: Salamanca, Tula, Salina Cruz, se procede a obtener las pérdidas por desgaste después de someter las probetas a un baño María a diferentes temperaturas para evaluar la cohesión en la mezcla y poder apreciar las acciones nocivas del agua y evaluar la adhesividad del agregado con el asfalto por medio de las perdidas en la mezcla.

La resistencia a la humedad del asfalto se evalúa con la pendiente de curva desgaste-temperatura.

A continuación se presenta la tabla 4.9, 4.10, 4.11 y figura 4.35., 4.36., 4.37. de cada uno de los asfaltos donde se muestran los resultados del estudio.

Tabla 4. 9. Resultados de las probetas fabricadas con asfalto tipo AC-20 de la refinería Salamanca, sometidas a desgaste por humedad.

ASFALTO AC-20 DE SALAMANCA					
TEMPERATURA (°C)	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Gr)	PESO FINAL (Gr)	PÉRDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
-10	1	932	126	86.48	91.19
	2	931	49	94.74	
	3	927	71	92.34	
5	4	925	92	90.05	87.66
	5	923	250	72.91	
	6	912	0	100.00	
20	7	936	414	55.77	58.13
	8	909	387	57.43	
	9	928	360	61.21	
40	10	928	634	31.68	39.68
	11	917	390	57.47	
	12	913	640	29.90	
60	13	925	473	48.86	38.68
	14	734	356	51.50	
	15	772	651	15.67	

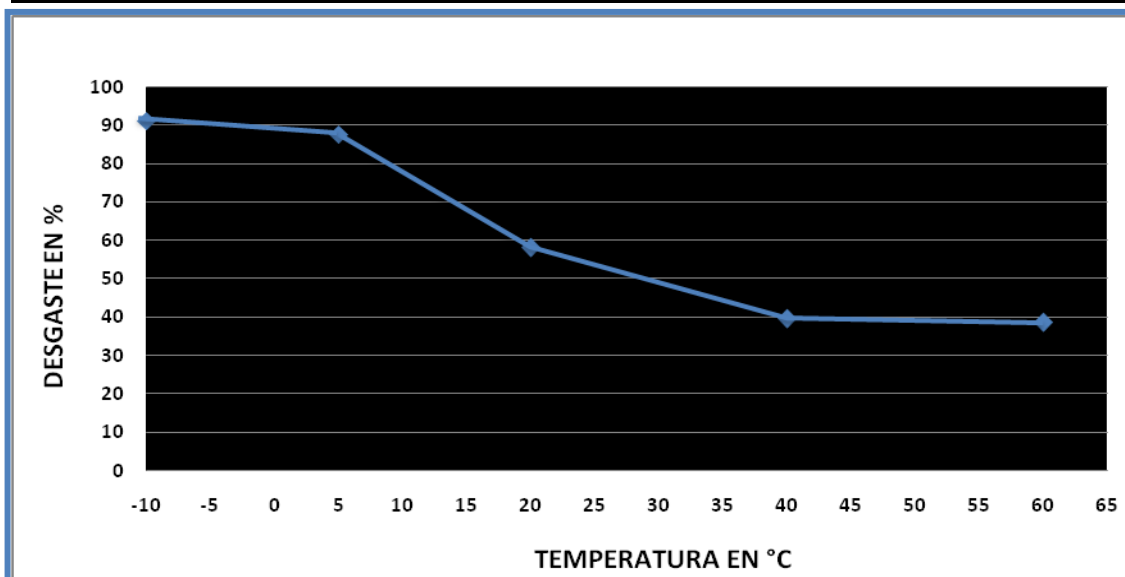


Figura 4.35. Desgaste por humedad, asfalto tipo AC-20 Salamanca

Tabla 4.10. Resultados de las probetas fabricadas con asfalto tipo AC-20 de la refinería Tula, sometidas a desgaste por humedad.

ASFALTO AC-20 DE TULA					
TEMPERATURA (°C)	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Gr)	PESO FINAL (Gr)	PÉRDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
-10	1	904	127	85.95	89.61
	2	937	0	100.00	
	3	917	157	82.88	
5	4	934	295	68.42	70.93
	5	928	312	66.38	
	6	932	205	78.00	
20	7	934	478	48.82	46.77
	8	911	518	43.14	
	9	933	482	48.34	
40	10	918	505	44.99	36.10
	11	925	776	16.11	
	12	928	490	47.20	
60	13	914	261	71.44	81.56
	14	923	120	87.00	
	15	931	128	86.25	

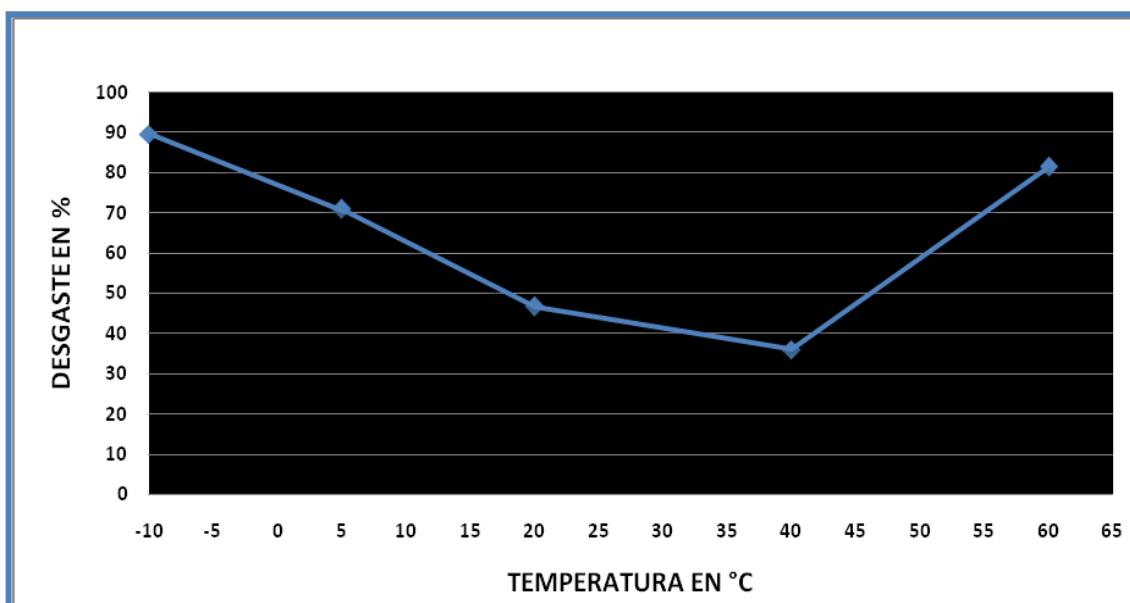


Figura 4.36. Desgaste por humedad, asfalto tipo AC-20 Tula

Tabla 4.11. Resultados de las probetas fabricadas con asfalto tipo AC-20 de la refinería Salina Cruz, sometidas a desgaste por humedad.

ASFALTO AC-20 DE SALINA CRUZ					
TEMPERATURA (°C)	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Gr)	PESO FINAL (Gr)	PÉRDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
-10	1	721	69	90.43	88.72
	2	932	149	84.01	
	3	929	77	91.71	
5	4	893	203	77.27	76.41
	5	645	155	75.97	
	6	596	143	76.01	
20	7	917	494	46.13	59.55
	8	910	120	86.81	
	9	630	342	45.71	
40	10	926	168	81.86	68.89
	11	917	150	83.64	
	12	719	423	41.17	
60	13	722	222	69.25	74.98
	14	897	130	85.51	
	15	436	130	70.18	

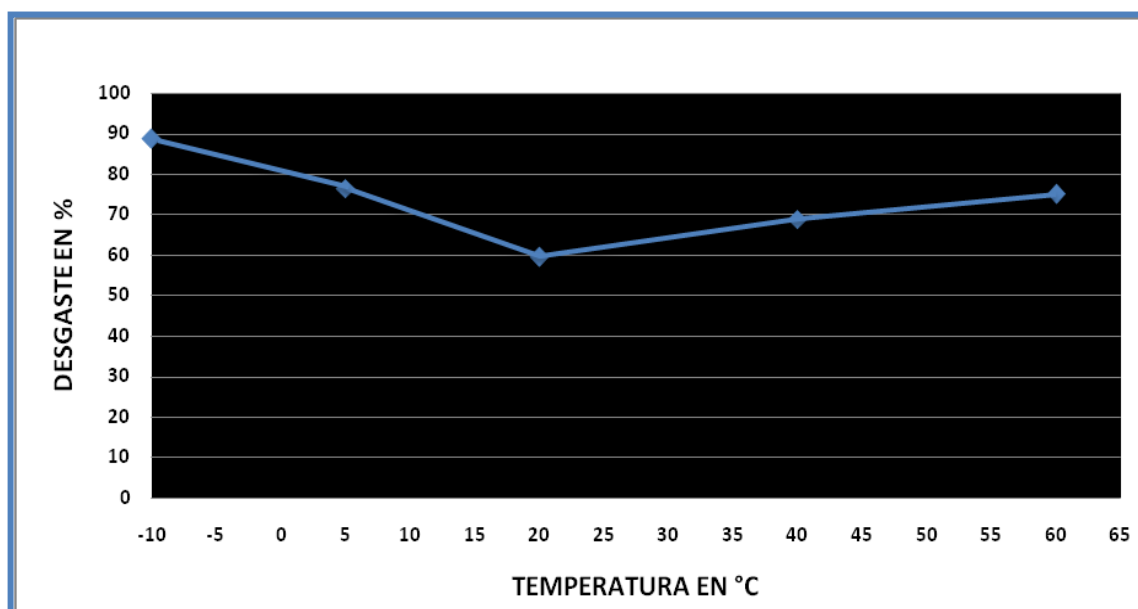


Figura 4.37. Desgaste por humedad, asfalto tipo AC-20 Salina Cruz

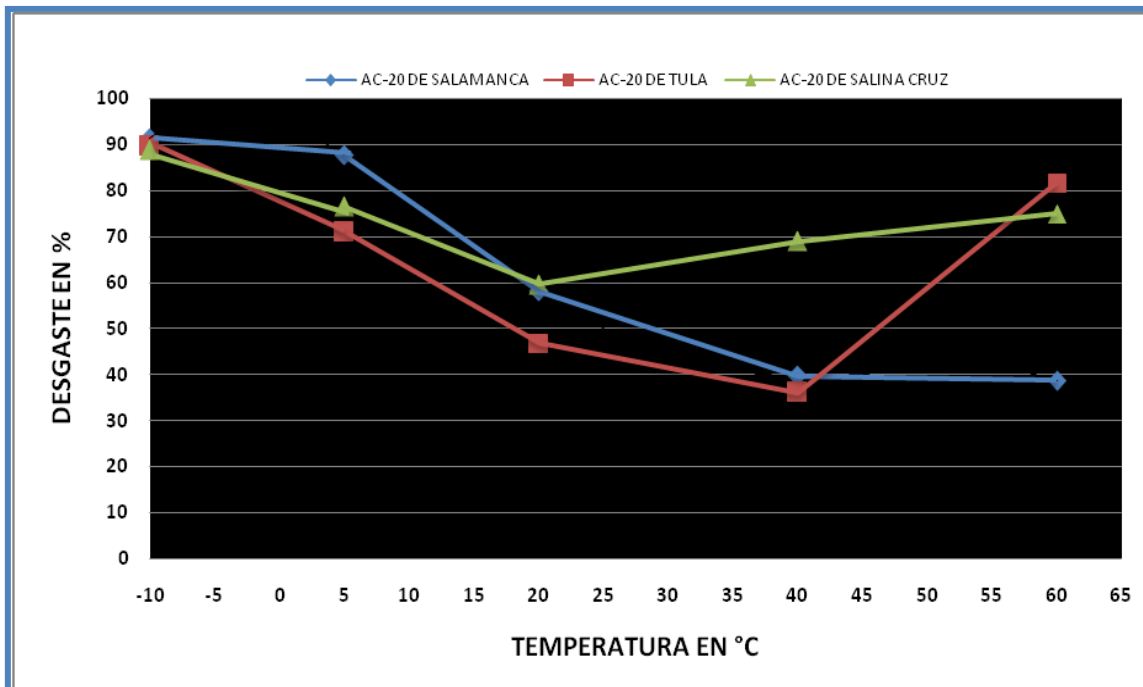


Figura 4.38. Resumen general de resultados de las combinaciones estudiadas de material pétreo, con los distintos asfaltos AC-20 con presencia de humedad.

Con los resultados de las tablas anteriores concluimos los ensayos de cada una de las mezclas ensayadas por humedad, presentando los porcentajes de desgaste y graficándolos para poder apreciar con mayor detalle el comportamiento del agregado pétreo en combinación con los distintos asfaltos y su susceptibilidad al agua.

En la figura 4.38. Podemos comparar los resultados anteriores y apreciar mejor el tipo de combinación que mejor se comporta ante la presencia de agua en la mezcla.

CONCLUSIONES

Los ensayos convencionales de caracterización de la mezcla asfáltica son complicados y no garantiza un buen comportamiento entre el agregado pétreo y el asfalto. Por esta razón, la presente investigación es de gran importancia para poder apreciar de una forma más clara el comportamiento entre agregado-asfalto mediante el Método UCL[®] ya que es sencillo y práctico.

La cohesión del asfalto así como la susceptibilidad al variar la temperatura, someterla a envejecimiento y a humedad, nos dan un parámetro del comportamiento del asfalto y poder elegir la mejor opción para ser empleado en mezclas asfálticas y obtener mejores resultados y satisfaga nuestros intereses.

En el caso de la susceptibilidad al variar la temperatura hemos podido comprobar que conforme aumentamos la temperatura se pierde consistencia y disminuye la cohesión entre las partículas, al bajar la temperatura el asfalto se comporta frágil y por este motivo se incrementan las pérdidas por desgaste.

Para el ensaye de envejecimiento se pudo apreciar con claridad que existen dos factores importantes que afectan al asfalto los cuales son la temperatura y el tiempo, conforme va transcurriendo el tiempo en el que la mezcla asfáltica está expuesta a una temperatura de 163°C se va deteriorando debido a la oxidación.

En el desgaste por susceptibilidad a la humedad se comprueba que la humedad con diferentes temperaturas tanto a altas como a bajas es perjudicial para la combinación asfalto-pétreo, lo que ocasiona el desgranado de las probetas y la pérdida de adhesividad entre agregado y asfalto ocasionando un desgaste considerable y la pérdida de cohesión.

En este trabajo se ha podido analizar con ayuda del Método UCL[®] la resistencia al desgaste de las pastillas fabricadas con asfaltos convencionales de tres distintas refinerías y apreciar su susceptibilidad a diferentes temperaturas, envejecimiento y humedad, que nos proporciona valiosa información de el futuro comportamiento de la mezcla puesta en obra, para con ello poder seleccionar la mezcla asfáltica con mejores resultados y que sea la que conviene a nuestros intereses.

La combinación que mejor comportamiento tuvo bajo las diferentes combinaciones de temperatura así como en el ensaye con humedad presentando menores pérdidas por desgaste en algunos rangos de temperatura, fue la que se elaboró con AC-20 de Salamanca.

En cuanto a la pérdida por desgaste de las combinaciones sometidas a envejecimiento y después ensayadas en el cántabro, la combinación con asfalto AC-20 de Salina Cruz fue la que menor pérdida tuvo.

Con esto se concluye que el Método UCL es práctico, que de forma clara nos permite apreciar el comportamiento mecánico entre agregados y el asfalto, para contribuir con un estudio más detallado de una mezcla asfáltica.

REFERENCIAS

XXIV Congreso Mundial de Carreteras. MOVILIDAD, SUSTENTABILIDAD Y DESARROLLO. Historia y evolución de las mezclas asfálticas en las carreteras de México. Manuel Tinoco Zamudio.. Ciudad de México del 26 al 30 de septiembre de 2011.

ASPHALT INSTITUTE Principio de construcción de mezcla asfáltica en caliente. Serie de manuales N.22 (MS-22), pp. 83-96. Lexington, KY, EUA.

Nueva metodología para caracterización de ligantes asfálticos: el Método UCL. Carreteras, n°73. Madrid 1994, Pérez Jiménez, F.

CARRETERAS, REVISTA TECNICA DE LA ASOCIACION ESPAÑOLA DE LA CARRETERA. Procedimientos funcionales para la caracterización de ligantes. Métodos SHRP y UCL. publicación número 100, pp. 39-48. Madrid 1999, MIRO RECASENS, R., KHALID, H A., WALSH, C M., PEREZ JIMENEZ, F E.

Asfáltica revista numero 27 edición especial. Asociación Mexicana del Asfalto A.C., 2011

ASPHALT INSTITUTE Antecedentes del diseño y análisis de mezclas asfálticas de SUPERPAVE, EE.UU., 1995

Emulsiones Asfálticas para Caminos (SFERB), Unión Francesa de Asociaciones de la Industria Caminera (USIRF)

Seminario internacional de asfalto RECOPE. Mezclas Tibias, Dr. Pedro Limón Covarrubias, LASFALTO, SURFAX S.A DE C.V. 2011

Secretaría de Comunicaciones y Transporte, SCT. N-CMT-4-05-001/06. Características de los Materiales, Materiales para Pavimentos. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas. Calidad de Materiales Asfálticos.

Secretaría de Comunicaciones y Transporte, SCT. N-CMT-4-05-003/08. Características de los Materiales, Materiales para Pavimentos. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas. Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras.

Secretaría de Comunicaciones y Transporte, SCT. N-CMT-4-05-004/08. Características de los Materiales, Materiales para Pavimentos. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas. Calidad de Mezclas Asfálticas Grado PG.

Secretaría de Comunicaciones y Transporte, SCT. N-CMT-4-04/08. Características de los Materiales, Materiales para Pavimentos. Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

Especificaciones de caminos, Dirección Nacional de Caminos de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, 1947

Especificaciones de caminos, Dirección Nacional de Caminos de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, 1957

Especificaciones de caminos, Dirección Nacional de Caminos de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas, 1987

<http://www.pemex.com/index.cfm?action=content§ionID=73&catID=11959&contentID=18244>

<http://www.ref.pemex.com/octanaje/22salina.htm>

http://www.globalmedia.mx/sanluis/ver_noticia.php?id=37359

<http://www.jornada.unam.mx/2009/09/27/economia>

<http://www.ref.pemex.com/octanaje/20sala.htm>