



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias

Sustitución de los agregados pétreos por plástico de desecho en la elaboración
de concretos asfálticos.

TESIS

Que como parte de los requisitos
para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Ingeniería con Línea Terminal en Construcción

Presenta:

Gabriel Bonillas García

Dirigido por:

M.I. Gerardo René Serrano Gutiérrez

SINODALES

M.I. Gerardo René Serrano Gutiérrez
Presidente

Dr. Diego Arturo López de Ortigosa y Casares
Secretario

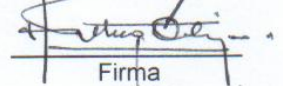
Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Vocal

M.C. Joaquín Noriega Montes
Suplente

M.C. Guillermo Rojas Villegas
Suplente

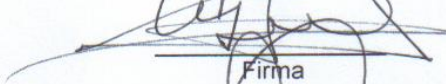
Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Director de la Facultad


Firma


Firma


Firma


Firma


Firma


Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Octubre de 2008
México

Resumen

La problemática que se vive hoy en día por la contaminación del medio ambiente originada por los plásticos que se desechan es preocupante, materia que es desechada por la industria maquiladora pero que afortunadamente puede ser reutilizada, ya que se le puede dar otro uso, o ser reciclada. Existe para ello diversas opciones como la elaboración de concretos asfálticos, sustituyendo los agregados pétreos por dichos sintéticos, y así crear nuevos productos para la construcción y de esa manera contribuir con el desarrollo tecnológico. El objetivo de esta tesis es lograr el remplazo alternativo del agregado pétreo en los concretos asfálticos por estos desechos, para así obtener propiedades similares o mejores a las de una mezcla normal. Esto se confirma comparando los resultados obtenidos con los de los concretos asfálticos de agregado pétreo, basados en las normas vigentes de la ONNCCE, NMX-C y ASTM. La manera en que propone comprobar esta innovación es elaborando especímenes de una mezcla asfáltica tradicional, diseñada para vialidades secundarias. Para ello con cantidades de agregado pétreo y de cemento asfáltico se elaboran las muestras: determinadas de igual manera, se toman las mismas proporciones para las muestras de plástico, pero como este es más liviano que el agregado común se hacen modificaciones registrándose el peso volumétrico para ajustar la cantidad de cemento asfáltico. Para el experimento se prepararon dos tipos de espécimen G1 que corresponde a la porción de agregado pétreo con cemento asfáltico y la G2 con agregado de plástico de desecho; tendría que obtenerse $G2 \geq G1$, para que puedan utilizarse estas uniones en vialidades secundarias. Los resultados que arrojaron las pruebas en lo que se refiere a la estabilidad de las muestras de agregado plástico es de 13.5% por debajo de las agregaciones tradicionales, sin embargo existió gran diferencia en el peso, siendo más livianas que las mezclas con agregado pétreo ya que pesan aproximadamente el doble. Por lo que se concluye que los concretos asfálticos con agregado de plástico pueden ser utilizados en andadores, banquetas u otros usos similares, pero se tendría que realizar una prueba física en una calle transitada para determinar su comportamiento con el paso de diferentes vehículos.

(Palabras clave: Plástico, asfalto, cemento asfáltico, agregado pétreo, mezcla)

Summary

The problems that exist today due to environmental pollution from plastic waste are of great concern. These materials are discarded by the maquiladora industries; fortunately, however, they can be reused for other things or recycled. There are a number of options, such as the preparation of asphalt concrete in which stone-like materials are replaced with these synthetic materials, thus creating new construction products which contribute to technological development. The objective of this thesis is to achieve an alternative replacement of stone-like aggregates in asphalt concrete with the abovementioned waste, obtaining similar or superior attributes compared to those of the normal mixture. This was confirmed upon comparing the results with those obtained from the asphalt concrete made of stone-like aggregates, based on the ONNCCE, NMX-C and ASTM (from their initial in Spanish) regulations in effect. The way in which we proposed to test this innovation was by preparing specimens of a traditional asphalt mixture designed for small streets. The samples were prepared with quantities of stone-like aggregate and asphalt cement, determined in the same way. The same proportions were used for the plastic samples, but since this material is lighter than the common aggregate, modifications were made, registering the volumetric weight to adjust the quantity of asphalt cement. For this experiment, two types of specimen were prepared: G1, which corresponds to the portion of stone-like aggregate in asphalt cement, and G2 using waste plastic aggregate. G2 \geq G1 would have to be obtained in order to use these unions for small streets. Results from tests referring to the stability of plastic aggregate samples are 13.5% lower than those for traditional aggregations. However, there was a great difference in weight, as these are much lighter than stone-like aggregate mixtures which weigh approximately twice as much. We therefore conclude that asphalt concrete with plastic aggregate can be used for sidewalks and similar things. Nevertheless, a physical test on a street with heavy traffic would be necessary to determine its behavior with use by different types of vehicles.

(Key words: Plastic, asphalt, asphalt cement, stone-like aggregate, mixture)

Dedicatorias

A mis padres por todo su amor y apoyo
A mis hermanos por la fortaleza y el cariño que recibí de su parte
A mis abuelos, a toda mi familia y amigos.

Agradecimientos

A Dios por darme la oportunidad, vida y salud para llevarla acabo.

A mis padres y a mis hermanos que han sido mi sostén

A mis tíos que siempre me han echado la mano enteramente en lo que se me ofrecido, en especial a Rafael, Emilio y Nicolás.

A mis primos Tebeto y Rafael.

A toda mi familia que solidariamente ha estado conmigo, al igual que mis amigos que me dieron su apoyo.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Querétaro, por darme la oportunidad de cursar esta maestría, a los maestros que nos impartieron las clases y nos transmitieron su sabiduría, a su facultad de Ingeniería.

Al Instituto Tecnológico de Nogales, y en especial al departamento de Ciencias de la Tierra por brindarnos las todas sus instalaciones.

Al M.C. Luis Armando Cheu también por su apoyo

Así mismo agradezco al Ingeniero Francisco Octavio Gastelum Ceballos por su amistad, coordinación y vínculo con mi Universidad, sin él no se hubiera instituido maestría en Nogales, así como la del Ingeniero Jorge Castro Mondragon de la UAQ, fue él quien nos dio el ultimo empujoncito para terminar este ciclo.

A todos mis compañeros de la maestría y al Colegio de Ingenieros Civiles de Nogales por su entusiasmo y apoyo.

A todos ellos

MI GRATITUD

INDICE

	Página
Resumen	I
Summary	II
Dedicatorias	III
Agradecimientos	IV
Índice	V
Índice de tablas	VI
Índice de figuras	VIII
I. Introducción.	3
I.1. Descripción del Problema.	3
I.2. Objetivos.	4
I.3. Hipótesis.	5
I.4. Justificación.	6
II. Antecedentes	7
II.1. Asfalto.	9
II.2. Agregados.	20
II.3. Plástico.	52
III. Marco Referencial (Revisión de literatura).	75
IV. Método de investigación.	79
IV.1. Diseño de la investigación.	80
IV.2. Diseño de la mezcla asfáltica.	83
V. Experimentación.	107
VI. Resultados.	126
VII. Alcances y Conclusiones.	132
Bibliografía.	135
Anexos.	136
Glosario.	154

INDICE DE TABLAS

Tabla		Página
1	Requisitos para cemento asfáltico graduado por Viscosidad (AASHTO M 226).	14
2	Requisitos para cemento asfáltico graduado por viscosidad del residuo de la prueba de película .	15
3	Sistema de clasificación por penetración.	17
4	Clasificación del agregado.	24
5	Composición típica del concreto asfáltico.	36
6	Tamaños típicos de tamices	39
7	Datos de un análisis de tamices.	40
8	Clasificación de plásticos.	54
9	Plásticos utilizados y punto de fusión.	68
10	Diseño del experimento.	80
11	Granulometría agregado pétreo – asfalto	82
12	Granulometría agregado plástico – asfalto	82
13	Estimación del recubrimiento por kilogramo de material.	83
14	Porcentaje del recubrimiento por kilogramo de material.	84
15	Índices asfálticos más comunes.	85
16	Coficiente asfáltico según el material.	86
17	Granulometría del espécimen.	87
18	Granulometría de agregado pétreo – cemento asfáltico.	92
19	Granulometría de agregado plástico – cemento asfáltico.	93
20	Proporción de volumen de agregado pétreo – C.A.	95
21	Proporción de volumen de agregado plástico – C.A.	95
22	Factor de corrección.	99

Tabla		Página
23	Especificaciones para las mezclas con cemento asfáltico.	102
24	Volumen de agregado pétreo – C.A.	112
25	Volumen de agregado pétreo – C.A.	122
26	Resultados de los especímenes de agregado pétreo – C.A.	127
27	Resultados de los especímenes de agregado plástico – C.A.	129

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Productos y temperaturas típicas de destilación.	11
2	Proceso típico de refinación	13
3	Diagrama de la prueba de penetración	16
4	Análisis de tamices	33
5	Grafico típico de una granulometría exponencial y ejemplo de una banda de granulometría	38
6	Curva de graduación en la figura semi-logarítmica	43
7	Curva de graduación en la figura de potencia 0.45	44
8	Varios tipos de pesos específicos de agregado	46
9	Máquina de Desgaste de los Ángeles	48
10	Agregado con diferentes formas y texturas superficiales	50
11	Comportamiento del agregado al corte con la carga.	72
12	Esqueleto del agregado pétreo	73
13	Peso volumétrico Vs. contenido de cemento asfáltico, estabilidad Vs. contenido de cemento asfáltico, flujo Vs. contenido de cemento asfáltico, porcentaje de vacíos Vs. contenido de cemento asfáltico.	100
14	Gráfica de estabilidad con respecto al porcentaje C.A.	127
15	Gráfica de peso volumétrico con respecto al porcentaje C.A.	128
16	Gráfica de estabilidad con respecto al porcentaje C.A. (Plástico)	127
17	Gráfica de P.V. con respecto al porcentaje C.A. (Plástico)	130
18	Comparación de la estabilidad de todos los especímenes.	130
19	Comparación de pesos volumétricos	131

Sustitución de los agregados pétreos por plástico de desecho en la elaboración de concretos asfálticos.

Capítulo I

Introducción

I. Introducción

I.1. Problemática (importancia ecológica del reciclado, sustitución de materiales).

I.1. Descripción del Problema

La problemática que se tiene hoy en día en los rellenos sanitarios por la gran cantidad de plásticos que se desechan en ellos es mucha. Estos desperdicios son desechados por la industria maquiladora.

Uno de los usos que se puede dar a estos materiales, es la elaboración de concretos asfálticos, al sustituir los agregados pétreos por estos plásticos, así podemos crear nuevos productos para la construcción contribuyendo con el desarrollo tecnológico de nuestro país.

También de esa manera se reduciría la explotación de los bancos de agregados pétreos, disminuyendo la afectación del cauces de los ríos, ya que por lo regular es donde se encuentran los bancos de agregados.

I.2. Objetivos

Lograr la sustitución alternativa del agregado pétreo en los concretos asfálticos por plástico de desecho, para obtener propiedades similares o mejores a las de una mezcla normal. Esto se logrará comparando los resultados con los de los concretos asfálticos de agregado pétreo, basados en las normas vigentes de la ONNCCE, NMX-C y ASTM

Objetivos particulares

- Reducir la explotación de los bancos de agregados pétreos.
- Reducir la contaminación del medio ambiente, con el reciclaje o reutilización de plástico de desecho.
- Obtener nuevos productos para la construcción.

V. PLANTEAMIENTO TEÓRICO (Hipótesis, supuestos, pregunta)

- Marco teórico
- La nueva mezcla la vamos a comparar con las de las mezclas tradicionales con agregados pétreos, aplicando las normas vigentes y actualizadas que emite la NMX-C-ONNCCE y la ASTM. Por lo tanto sería normativo nuestro marco referencial.
- Variables independientes:
 - Mezcla de plástico y asfalto.
- Variables dependientes:
 - Resistencia a la compresión.
 - Cubrimiento del material.
 - Porcentaje de vacíos.
 - Determinación del contenido asfáltico en mezclas.

Hipótesis

Con la sustitución del agregado pétreo de los concretos asfálticos por plástico de desecho, se obtendrá una resistencia a la compresión mayor o igual a la de los concretos asfálticos comunes con agregado pétreo, cumpliendo con las normas, al combinar el plástico con el asfalto.

I.4. Justificación

Se pretende sustituir los agregados pétreos de los concretos asfálticos por plástico, experimentando con el cambio de las gravas y arenas de los concretos asfálticos por plástico de desecho, y comparando los resultados que se obtengan. así se podrá determinar si pueden ser utilizados en la construcción.

Al mismo tiempo reducir la contaminación del medio ambiente y la explotación de los bancos de arena y grava, ya que hoy en día se desecha una gran cantidad de plástico. Y al utilizar estos plásticos se obtendrán concretos asfálticos de igual o mejor capacidad que los concretos asfálticos tradicionales, y así mismo reducir la explotación de bancos de materiales pétreos.

Como otras investigaciones que se han llevado a cabo al sustituir algún agregado de los concretos asfálticos por ejemplo el asfalto modificado con hule de llanta que han dado muy buenos resultado en las carpetas asfálticas abiertas, y de esta manera las llantas de los automóviles que terminan su ciclo pueden reciclarse y así no contaminar.¹

¹ Desarrollo de los asfaltos con hule molido y perspectivas en México. Jorge E. Cárdenas García. Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Capitulo II

Antecedentes

II. Antecedentes

El reciclaje de los materiales de desecho y su reutilización trae beneficios, tanto para la ecología como para la humanidad. Pero la falta de conciencia de las personas y la carencia de empresas recicladoras, en la localidad, ha derivado en una gran contaminación.

Uno de estos desechos es el plástico, una vez que pierde su valor de venta o que pasa por varios ciclos de reciclado son desechados a los rellenos sanitarios.

En la ciudad de Nogales, Sonora, solo existen dos empresas que reciclan el plástico, pero este es muy seleccionado ya que tiene que ser muy puro y no encontrarse en combinación con otros tipos de plásticos u otros materiales. Otro de los factores es que las empresas que tratan estos plásticos se encuentran muy retiradas de la ciudad o se localizan en otro país.

Es por eso que se pretende utilizarlos en la elaboración de concretos asfálticos, en sustitución de los agregados pétreos de estos concretos, para también reducir la explotación de bancos de agregados, en los cauces de arroyos y ríos de la localidad.

Estos nuevos concretos asfálticos elaborados con agregados de plástico, tendrán que dar los mismos resultados o mejores que los concretos asfálticos tradicionales hechos con agregados pétreos. Utilizando las pruebas de consistencia, resistencia a la compresión, cubrimiento del material, para poder utilizarlos en la construcción.

II.1. Asfalto²

Es un material negro, cementante, que varia ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

Casi todo el asfalto usado en los Estados Unidos es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería, permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos; Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

El asfalto usado en la pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico constituido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico.

El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

² Asociación Mexicana del Asfalto (2004). Seminario importancia de los agregados pétreos, [CD-Rom. Abstracto de: Archivo Materiales pétreos en mezclas asfálticas.

II.2. Origen y Naturaleza del Asfalto

A veces hay confusión acerca del origen del asfalto; de cómo es refinado, y como se clasifica en sus diferentes grados. Esto se debe a que el asfalto es usado para muchos propósitos. Existe una confusión similar respecto a ciertos términos relacionados con las propiedades del asfalto. El propósito de esta sección es el de discutir, en suficiente detalle; el origen y naturaleza del asfalto de pavimentación, para poder transmitir un entendimiento claro de los conceptos fundamentales.

II.3. Refinación de Petróleo

El crudo de petróleo es refinado por destilación. Este es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo Por medio de un aumento, en etapas, de la temperatura. Como puede verse en la Figura 1, las diferentes fracciones se separan a diferentes temperaturas Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, usualmente llamados gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Como se indica en la Figura 2.1, el asfalto puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F), Esta temperatura puede variar un poco, dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo.

La Figura 2 es una ilustración esquemática de una refinería típica, muestra el flujo de petróleo durante el proceso de refinación.

Destilación de Crudo de Petróleo (Típica)

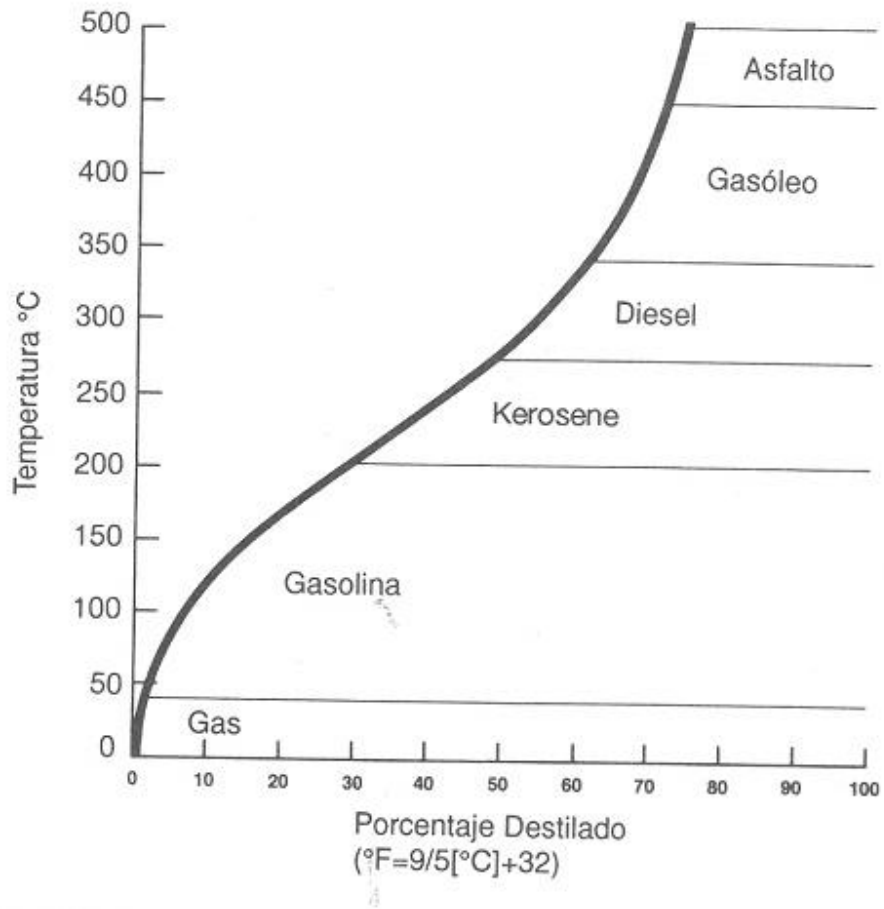


Figura 1 – Productos y temperaturas típicas de destilación.

II.4. Refinación de Asfalto

Diferentes usos requieren diferentes tipos de asfalto. Los refinadores de crudo deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que producen, para que estos cumplan ciertos requisitos. Esto se logra, usualmente, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos. El hecho de poder mezclar permite al refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario.

Existen dos procesos por los cuales puede ser producido un asfalto después de que se han combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción con solventes. Como se discutió anteriormente, la destilación por vacío consiste en separar el asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío, En el proceso de extracción con solventes, se remueven mas gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Una vez que los asfaltos han sido procesados, estos pueden ser mezclados entre si, en ciertas proporciones, para producir dos intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para producir un asfalto de viscosidad intermedia.

En resumen, para producir asfaltos con características específicas, se usa el crudo de petróleo o mezclas de crudos de petróleo. Así el asfalto es separado de las otras fracciones del crudo por medio de destilación por vacío o extracción con solventes.

II.5. Clasificación, Propiedades Físicas y Químicas del Asfalto

II.5.1 Clasificación y Grados del Asfalto

Los asfaltos de pavimentación pueden clasificarse bajo tres tipos generales:

- Cemento asfáltico.
- Asfalto diluido (o cortado).
- Asfalto emulsificado.

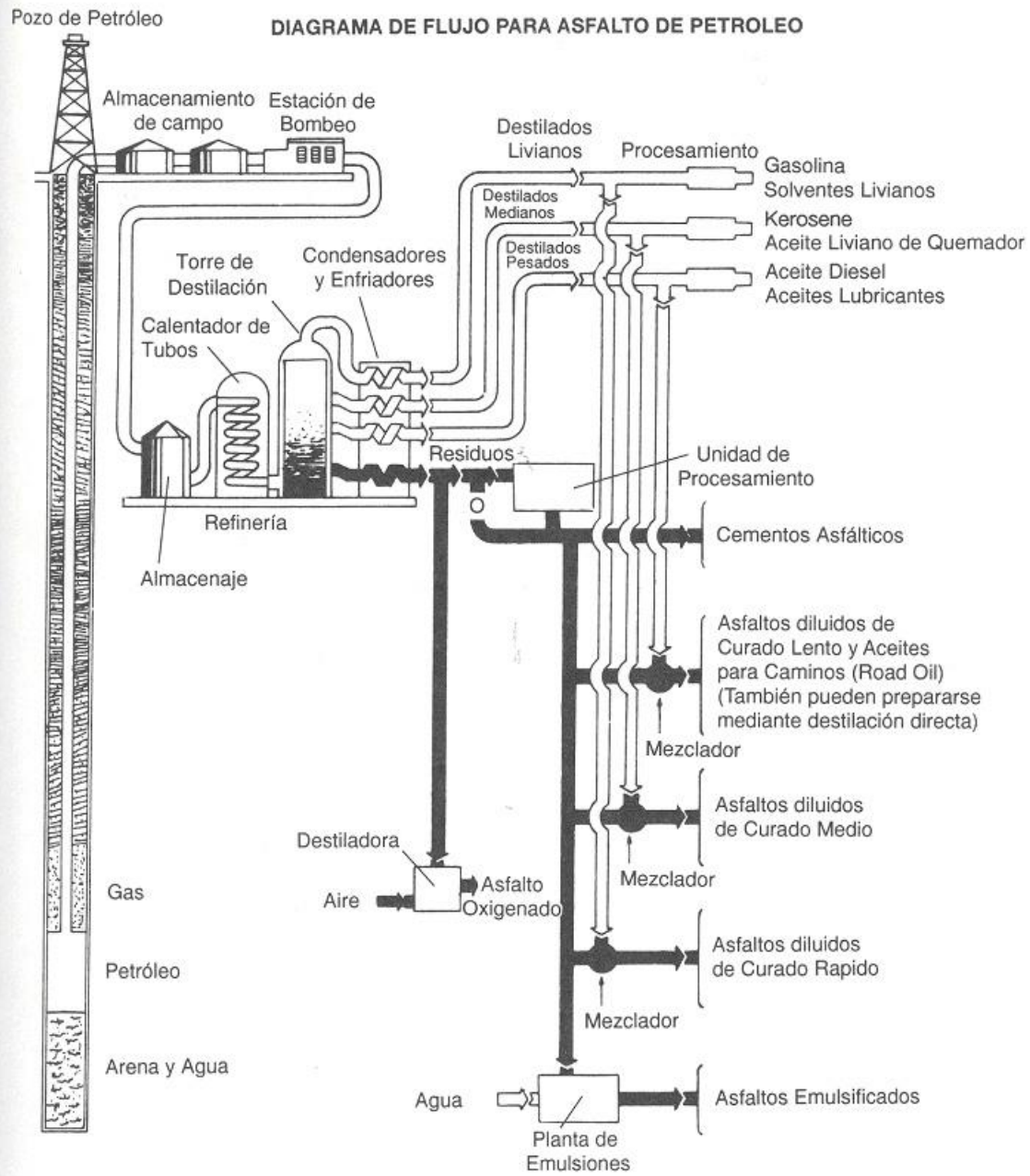


Figura 2 – Proceso típico de refinación

Los asfaltos diluidos y los emulsificados son usados, casi por completo, en mezclas en frío y en riegos, y no se discutirán mas en esta sección.

Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes. Ellos son: viscosidad, viscosidad después de envejecimiento, y penetración. Cada sistema abarca diferentes grados, cada uno con diferentes rangos de consistencia.

El sistema más usado en los Estados Unidos está basado en la viscosidad del asfalto. La Tabla 1 muestra el sistema en forma de tablas. Algunas de las agencias, hoy día, han modificado los parámetros del sistema para poder cumplir con necesidades específicas. El inspector debe usar, como referencia, las especificaciones asfálticas de su propia agencia.

En el sistema de viscosidad, el poise (ver definición en Apéndice B) es la unidad normal de medida para viscosidad absoluta. Refiriéndose a la Tabla 1, observe que cuanto más alto es el número de poises, más viscoso es el asfalto. El AC-2,5 (cemento asfáltico con una viscosidad de 250 poises a 60°C o 140°F) es conocido como un asfalto "blando". El AC-40 (cemento asfáltico con una viscosidad de 4000 poises a 60°C o 140°F) es conocido como un asfalto "duro".

Tabla 1 - Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por Viscosidad (AASHTO M 226)

Requisitos para Cemento Asfáltico Clasificado por Viscosidad a 60° C

Prueba	Grado de Viscosidad					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad 60°C, poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viscosidad 135°C, Cs-mínimo	125	175	250	300	350	400
Penetración 25°C, 5 segundos mínimo	220	140	80	60	50	40
Punto inflamador, Cleveland, °C (°F) mínimo	163(325)	177(350)	219(425)	232(450)	232(450)	232(450)
Solubilidad en tricloroetileno, porciento - mínimo	99	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO:						
Perdida por calentamiento, porciento-máximo (opcional) ³		1	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad 60°C, poises - máximo	1000	2000	4000	8000	12000	16000
Ductilidad, 25°C, 5 cm por minuto	100 ¹	100	75	50	40	25
Prueba de mancha (cuando y como se especifique) ² con:						
Solvente normal de nafta	Negativo para todo los grados					
Solvente de nafta-xileno, % xileno	Negativo para todo los grados					
Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todo los grados					

¹ Si la ductilidad es menor de 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6°C tiene un valor/mínimo de 100

² El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente usado cuando se va a usar la prueba. En el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

³ El uso del requisito de pérdida por calentamiento es opcional.

Varios estados del Oeste, en Estados Unidos, clasifican el asfalto de acuerdo a su viscosidad después de envejecido. La idea es identificar cuáles serán las características de viscosidad después de que se ha colocado el asfalto en el pavimento. Para poder simular el envejecimiento que ocurre en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en el laboratorio utilizando un ensayo patrón de envejecimiento. El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento es clasificado, posteriormente, de acuerdo a su viscosidad. Una vez más, la unidad normal de medida es el poise. Tabla 2 identifica los posibles grados bajo este sistema.

Tabla 2 – Requisitos para cementos asfálticos graduado por la viscosidad del residuo de la prueba de película delgada en horno rotatorio (AASHTO M 226).

PRUEBAS SOBRE EL RESIDUO DEL ENSAYO DE LA NORMA AASHTO T 240 ¹	GRADO DE VISCOSIDAD				
	AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viscosidad, 60° C, poises	1000 ± 250	2000 ± 500	4000 ± 1000	8000 ± 2000	16000 ± 4000
Viscosidad, 135° C, Cs-minimo	140	200	275	400	550
Penetracion, 25° C, 100 g., 5 segundos-minimo	65	40	25	20	20
Porciento de Pen original, 25° C-minimo	—	40	45	50	52
Ductilidad, 25° C, 5 cm por minuto, cm-minimo	100 ²	100 ²	75	50	52
PRUEBAS SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL					
Punto Inflamador, Cleveland, ° C (°F)-minimo	205 (400)	219 (425)	227 (440)	232 (450)	238 (460)
Solubilidad en tricloroetileno, por ciento-minimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

¹ AASHTO T 179 (TFO) puede ser usado, pero AASHTO T 240 debera ser el metodo de referencia.
² Si la ductilidad es menor que 100, el material sera aceptado si la ductilidad a 15.6° C tiene un valor/minimo de 100.

En la Tabla 2, la abreviación “AR” corresponde a “Residuo Envejecido.” Obsérvese que el AR-10 (viscosidad de 1000 poises) se conoce como un asfalto “blando”. Mientras que el AR- 160 (viscosidad de 16000 poises) se conoce como un asfalto “duro”.

El tercer método usado para clasificar asfaltos es el de penetración. La Figura 3 muestra como se efectúa el ensayo de penetración. Una aguja normal se deja penetrar dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada. La

distancia que la aguja penetra en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200-300 indica que la aguja penetra en la muestra, bajo condiciones específicas, de 200 a 300 décimas de milímetro. Esto es indicación de un asfalto “blando”. Un grado 40-50, por otro lado, es indicación de un asfalto “duro” en el cual la aguja fue capaz de penetrar solamente de 40 a 50 décimas de milímetro. La Tabla 3 muestra los distintos grados incluidos bajo este sistema.

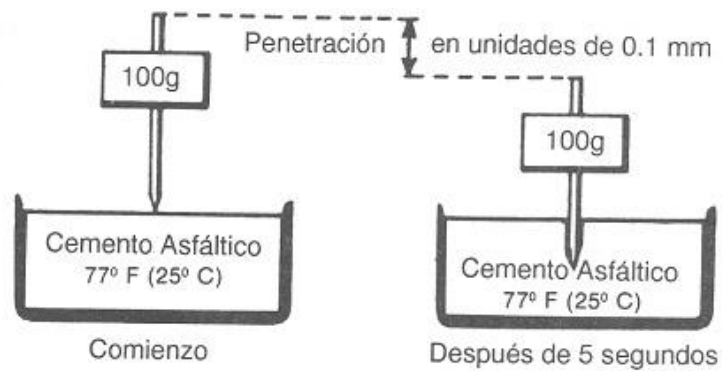


Figura 3 – Diagrama de prueba de penetración.

Tabla 3 – Sistema de clasificación por penetración.

**REQUISITOS PARA UNA ESPECIFICACION PARA CEMENTO ASFALTICO
AASHTO M 20**

	Grado de Penetracion									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Penetracion a 25° C, 100 g., 5 segundos.....	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto Inflamador, Ensayo Cleveland, ° C.....	450	.....	450	.....	450	.....	425	.....	350	.....
Ductilidad a 25° C, 5 cm. por min, cm.	100	.....	100	.....	100	.....	100	.....	.....	.....
Solubilidad en tricloroetileno, por ciento	99	.....	99	.....	99	.....	99	.....	99	.....
TFO, 3.2 mm, 163° C, 5 horas .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Perdida por calentamiento, por ciento .....	.....	0.8	.....	0.8	.....	1.0	.....	1.3	.....	1.5
Penetracion del residuo, porcentaje del original	58	.....	54	.....	50	.....	46	.....	40	.....
Ductilidad del residuo a 25° C, 5 cm, por min, cm.....	.....	.....	50	.....	75	.....	100	.....	100	.....
Prueba del Mancha (cuando y como se especifique) (ver nota) con: Solvente normal de nafta Solvente de nafta-xileno, % xileno Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados Negativo para todos los grados Negativo para todos los grados									

NOTA: El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero debera especificar el tipo de solvente cuando se va a usar la prueba, y en el caso de los solventes de xileno, debera especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

Las tablas muestran, en los tres sistemas, propiedades que van más allá de viscosidad y penetración - propiedades como ductilidad, punto de inflamación, etcétera. Estas propiedades, y los ensayos correspondientes, serán discutidos más adelante en esta sección.

II.5.2. Propiedades Químicas del Asfalto

El asfalto tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras. Los técnicos de asfalto y los diseñadores de pavimentos han aprendido a identificar y caracterizar estas propiedades y a usarlas, dentro de la estructura del pavimento, en la forma más ventajosa posible. Una breve introducción de las propiedades más importantes ayudara al inspector a entender la naturaleza de los pavimentos de mezclas en caliente.

Debe observarse que ninguna de las tablas que describen los tres sistemas de clasificación de asfaltos, mencionan composición química. Esto puede parecer sorprendente, debido a que la composición química es ciertamente uno de los medios usados, más precisos, para identificar las propiedades de cualquier sustancia, Sin embargo, existen varias razones por las cuales la química no ha llegado a ser parte de los sistemas de clasificación:

- En la actualidad no hay una prueba normal para composición química de asfaltos que sea aceptada mutuamente por los vendedores, los compradores y los usuarios del material.
- Los ensayos existentes para analizar composición química requieren de equipos sofisticados y pericia técnica que no está disponible en la mayoría de los laboratorios donde se hacen pruebas de asfaltos.
- La relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento en la estructura del pavimento es todavía incierta. Respecto a esto todavía hay muchas preguntas sin contestar.

De todas maneras, una breve descripción de la química del asfalto ayudara a que el inspector entienda la naturaleza del material.

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de

azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y malténos.

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos, una vez separados de los malténos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito.

Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.

Los malténos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de asfaltenos y malténos en el asfalto puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los malténos como estos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas para formar una sola molécula más pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así un aumento en la viscosidad del asfalto.

II.5.3. Propiedades Físicas del Asfalto

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

II.2. Agregado³

Agregado, también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena grava, piedra triturada, escoria, y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 el 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debida a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas, y metamórficas (Tabla 4). Esta clasificación está basada en el tipo de formación de cada roca.

II.2.1. Rocas Sedimentarias.

Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como es el caso de las areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (algunas calizas), de plantas (carbón), de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal, yeso), o de la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales.

Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son silicio y calcáreo. Rocas sedimentarias silíceas son aquellas que contienen un porcentaje alto de sílice. Aquellas rocas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio (calizas) son llamadas calcáreas.

³ Asociación Mexicana del Asfalto (2004). Seminario importancia de los agregados pétreos, [CD-Rom. Abstracto de: Archivo Materiales pétreos en mezclas asfálticas.

Las rocas sedimentarias se encuentran, característicamente, en capas (estratos), dentro de la corteza terrestre. Esta estratificación es el resultado directo de la manera en que se formaron las rocas sedimentarias a partir de depósitos de partículas finas, generalmente sedimentados sobre el fondo de lagos y mares antiguos.

II.2.2. Rocas ígneas.

Las rocas ígneas constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado. Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas.

Las rocas ígneas extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica o alguna actividad geológica similar. La roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente al ser expuesto a la atmósfera. La riolita, la andesita, y el basalto son ejemplos de rocas extrusivas.

Las rocas intrusivas, por otro lado, se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y endurece lentamente, permitiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia, la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia; siendo ejemplos el granito, la diorita, y el gabro. Los movimientos terrestres y los procesos de erosión traen rocas intrusivas a la superficie terrestre, donde pueden ser explotadas en cantera y posteriormente usadas.

II.2.3. Rocas Metamórficas

Las rocas metamórficas son, generalmente, rocas sedimentarias o ígneas, que han sido transformadas por procesos de intensa presión y calor dentro de la tierra, Y también por reacciones químicas. Es muy difícil determinar

el origen exacto de una roca metamórfica en particular. Debido a que los procesos de formación *son* muy complejos.

Muchos tipos de rocas metamórficas presentan un rasgo característico: los minerales están alineados en capas o planos paralelos. Partir la roca en el sentido de sus planos es mucho más fácil que partirla en sus otras direcciones.

Las rocas metamórficas que exhiben este tipo de estructura se denominan foliadas. Ejemplos de rocas foliadas son los gneises, los esquistos (formados de rocas ígneas) y la cuarcita (formando de la arcilla esquistosa una roca sedimentaria).

No todas las rocas metamórficas son foliadas. El mármol (formado de las calizas) son tipos comunes de rocas metamórficas que no presentan foliación.

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen, Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados, y agregados sintéticos o artificiales.

II.2.4. Agregados Naturales

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, el movimiento del hielo, y los químicos; la forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Los glaciares, por ejemplo, usualmente producen rocas y guijarros redondeados. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas.

Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35 *mm* (1/4 pulgada). La arena se define, como partículas de un tamaño menor que 6.35 *mm* (1/4 pulgada) pero mayor que 0.075*mm* (No. 200). Las partículas de un tamaño menor que

0.075mm (No.200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

Las gravas y las arenas son clasificadas, además, de acuerdo a su origen. Los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto, y los materiales tomados de la ribera de los ríos son conocidos como materiales de canteras de ríos.

Los depósitos de gravas varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo. Los depósitos de arena también contienen, comúnmente, alguna cantidad de arcilla y limo. Las arenas de playa (algunas de las cuales se encuentran tierra adentro hoy día) están compuestas de partículas de tamaño regularmente uniforme, mientras que las arenas de río contienen proporciones grandes de grava, limo y arcilla.

II.2.5. Agregados procesados

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación.

La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas. El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes.

Tabla 4 – Clasificación de agregos.

CLASIFICACION GENERAL DE ROCAS		
Clase	Tipo	Familia
Sedimentarias	Calcáreas	Caliza Dolomita
	Silíceas	Arcilla Esquistosa Arenisca Horsteno Conglomerado ¹ Breccia ¹
Metamórficas	Foliadas	Gneis Esquisto Anfibolita Pizarra
	No Foliadas	Cuarcita Mármol Serpentina
Igneas	Intrusivas (de grano grueso)	Granito ² Sienita ² Diorita ² Gabbro Periodotita Piroxenita Hornablendita
	Extrusivas (de grano fino)	Obsidiana Pómez Tufa Riolita ^{2,3} Traquita ^{2,3} Andesita ^{2,3} Basalto ² Diabasa

¹También puede estar parcialmente, o completamente, compuesta de materiales calcáreos.

²Aparece, frecuentemente, como roca porfirítica.

³Se incluyen bajo el termino general "felsita" cuando no se pueden determinar, cuantitativamente, los minerales constituyentes.

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Sin embargo, por razones económicas, el material triturado es usado tal y como sale del triturador, con muy poco o ningún tamizado. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con los requisitos de la obra. El agregado triturado, sin tamizar, es conocido como agregado triturado sin cribar, y es usado satisfactoriamente en muchos proyectos de construcción de pavimento. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones.

El triturado de algunos tipos de roca, como las calizas, produce cantidades substanciales de pequeños fragmentos y partícula. Esta fracción de material es separada de las partículas que tienen diámetros iguales o mayores 6.35 mm (1/4 pulgada), casi siempre, y usada como agregado de arena triturada, o procesada hasta tamaños máximos de 0.60 mm (No.30).

II.2.6. Agregados Sintéticos

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materias primas, para ser usados específicamente como agregado.

El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno, Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del

hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado.

Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Ellos son producidos al quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada. Vidrio volcánico, escoria, y otros materiales. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste. Los agregados sintéticos han sido usados en la pavimentación de cubiertas de puentes y cubiertas de techos, así como en capas superficiales de pavimento donde se requiere la máxima resistencia al deslizamiento.

II.2.7. Producción, Acopio de Reservas, Manejo, y Muestreo de Agregados

El inspector podrá ser responsable por supervisar el procesamiento de agregados cuando la fuente de los agregados usados en el proyecto de pavimentación este localizado cerca del lugar donde se encuentra la planta. Dicho procesamiento consiste en excavar las capas de suelo (sobrecarga) encontradas sobre los depósitos de grava, trabajar los depósitos para obtener agregados adecuados, y separar en pilas las partículas de agregado.

Los procedimientos para manejar y acopiar las reservas de agregado varían de obra en obra, debido a que la mayoría de las agencias contratantes no tienen especificaciones para dichos procedimientos. En vez de ello la agencia requiere, usualmente, que el contratista cumpla con las especificaciones de graduación para el agregado. Estas especificaciones tendrán que ser cumplidas ya sea durante la elaboración o acopio de reservas del agregado, o cuando la mezcla de pavimentación sea producida y colocada. En cualquier caso, el inspector deberá estar al tanto de como las practicas de manejo y acopio de reservas (tanto buenas como malas) afectan la selección del agregado.

El muestreo y las pruebas son los únicos medios de verificar si las especificaciones están siendo cumplidas, aun si estas requieren que el agregado cumpla con graduaciones durante la fabricación, acopio de reservas o producción de mezcla. Para garantizar que las muestras seleccionadas sean representativas, se deben seguir ciertos procedimientos de muestreo.

II.2.7.1 Producción de Agregados

El inspector deberá familiarizarse con los datos geológicos relacionados con el depósito de agregado y con las especificaciones que han sido establecidas para trabajar con el mismo, siempre que este supervisando la producción de agregado.

Cuando se trate de arenas o gravas, se deberá tener un cuidado especial al remover el suelo de destape (suelo que cubre el depósito) para no contaminar el agregado. Esto es particularmente importante cuando el suelo de destape (o descapote) contiene arcilla, vegetación, o algún otro material que pueda afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Puede que algún material de destape proporcione un relleno mineral aceptable; sin embargo, rara vez este material podrá producir una mezcla de agregado con la adecuada proporción de relleno mineral si tan solo se añade al depósito de agregado a medida que este es removido. En consecuencia, cualquier material de destape que sea adecuado que puede ser usado como relleno mineral deberá ser removido del depósito, tamizado, y añadido posteriormente al agregado ya procesado.

Este método permite un control cuidadoso, en la mezcla final, del contenido de relleno mineral.

Con cierta frecuencia, las operaciones en las excavaciones y canteras deben efectuarse alrededor de lentes de arcilla (depósitos en forma de lente), vetas (capas) de arcilla esquistosa y otros depósitos de materiales indeseables que forman parte del depósito de agregado. En este Caso la excavación del agregado puede tener que efectuarse a lo largo de un marco (nivel) horizontal, o

de abajo hacia arriba sobre una cara vertical del depósito, para evitar contaminación del agregado y poder garantizar una graduación uniforme.

Después del triturado y el tamizado es esencial evaluar completamente los agregados en instalaciones comerciales donde la producción de agregado es más o menos continua a través de la temporada de pavimentación, es suficiente llevar a cabo una o dos evaluaciones de calidad cada temporada. Cuando una operación está comenzando por primera vez, se deberán hacer evaluaciones periódicas del agregado antes de que este sea usado en las mezclas de pavimentación.

II.2.7.2. Acopio de Reservas de Agregado

Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad es esencial tener buenos procedimientos de acopio de reservas. Los agregados retienen su graduación si son adecuadamente acopiados, Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado se segregan (separan por tamaño), y la graduación varía en los diferentes niveles del acopio.

El contratista deberá estar preparado para recibir los agregados antes de que estos sean entregados en la planta. Deberán prepararse superficies firmes y limpias, y deberán tomarse precauciones para mantener separadas las reservas y así prevenir el entre mezclado de partículas, el cual conduce, frecuentemente, a errores en la graduación. La separación se logra ya sea manteniendo las reservas ampliamente espaciadas, mediante el uso de muros de contención entre ellas, o almacenando el agregado en depósitos. El uso de muros de contención requiere que estos sean lo suficientemente fuertes para resistir el peso del agregado; y que se extiendan hasta la profundidad total de las reservas.

Las arenas, el agregado triturado fino, y los agregados que consisten de partículas de un solo tamaño (especialmente partículas pequeñas) pueden ser acopiados con muy poca segregación, utilizando cualquier método. Sin

embargo, los materiales que contienen partículas que varían en tamaño de grandes (gruesas) a pequeñas (finas), requieren de ciertas precauciones en su acopio. La segregación de dichos agregados puede ser minimizada si el material grueso y el material fino son separados en el sitio y después juntados, en proporciones apropiadas, antes de las operaciones de mezclado. Cuando estas prácticas no sean llevadas a cabo, se deben seguir, de todas maneras, ciertas normas aplicables al acopio de reservas. La primera norma consiste en controlar la forma de los acopios. Cuando un agregado que contiene materiales gruesos y finos es apilado para formar un acopio de lados inclinados, las partículas gruesas tienden a rodar abajo, por la pendiente, y acumularse en la base.

El mejor método para acopiar reservas de agregado que contienen partículas de diferente tamaño consiste en apilar el material en capas. Tales capas minimizan la segregación que puede ocurrir por gravedad; Si el agregado es entregado por un camión, las cargas deberán ser vaciadas una cerca de otra, sobre la superficie del acopio. En este caso, el volumen de carga del camión va a determinar el espesor de cada capa, Cuando se use una grúa para acopiar el agregado, cada carga de la cubeta deberá ser vaciada una cerca de otra para garantizar uniformidad en el espesor de las capas.

Los rellenos minerales son usualmente almacenados en depósitos, silos o bolsas para prevenir que sean arrastrados por el viento y que sean expuestos a la humedad, la cual los puede aglutinar o endurecer.

II.2.7.3. Manejo de Agregado

El manejo de agregado degrada (rompe), hasta cierto punto, las partículas individuales de agregado, y causa segregación cuando se trata de partículas que presentan diferentes tamaños. Por lo tanto, el manejo de agregado debe ser mínimo para poder prevenir cualquier degradación y segregación.

El manejo mínimo incluye apartar el agregado de las reservas para que pueda ser procesado adicionalmente, y para luego ser mezclado en la planta de

mezcla en caliente. No existen reglas específicas para esta operación, pero si hay una norma general que casi siempre se aplica. Esta consiste en usar un cargador de tractor o cucharón de almeja para remover material de las partes casi verticales del acopio. Si se usa un buldócer, o cualquier otro vehículo de tracción, para trabajar en la parte superior del acopio, aumenta la probabilidad de una alta degradación.

II.2.7.4. Muestreo de Agregado

Los buenos procedimientos de control de calidad requieren de pruebas durante los procesos de producción, acopiado, y manejo, para:

- Asegurar que solamente se use material satisfactorio en la mezcla de pavimentación, y
- Proporcionar un registro permanente como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones de la obra.

Obviamente, no resulta práctico ensayar todo el agregado que está siendo producido o ensayar todo el contenido del acopio. Solo es posible ensayar muestras de estos materiales. La muestra seleccionada debe ser verdaderamente representativa de todo el agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables. Es muy importante, por lo tanto, tener técnicas apropiadas de muestreo.

II.2.8. Propiedades del Agregado y su Evaluación

El muestreo estadístico esta fuera del alcance de esta discusión. En caso de ser necesario, se debe hacer referencia a la norma ASTM D 3665, Método normal para Muestreo Aleatorio, la cual describe procedimientos apropiados para efectuar dicho muestreo.

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma entre el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos Criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aun más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- Graduación y tamaño máximo de partícula
- Textura de la superficie
- Limpieza
- Capacidad de absorción
- Dureza
- Afinidad con el asfalto
- Forma de la partícula
- Peso específico

II.2.9. Graduación y Tamaño Máximo de Partícula

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones.

Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender cómo se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

II.2.9.1. Tamaño Máximo de Partícula

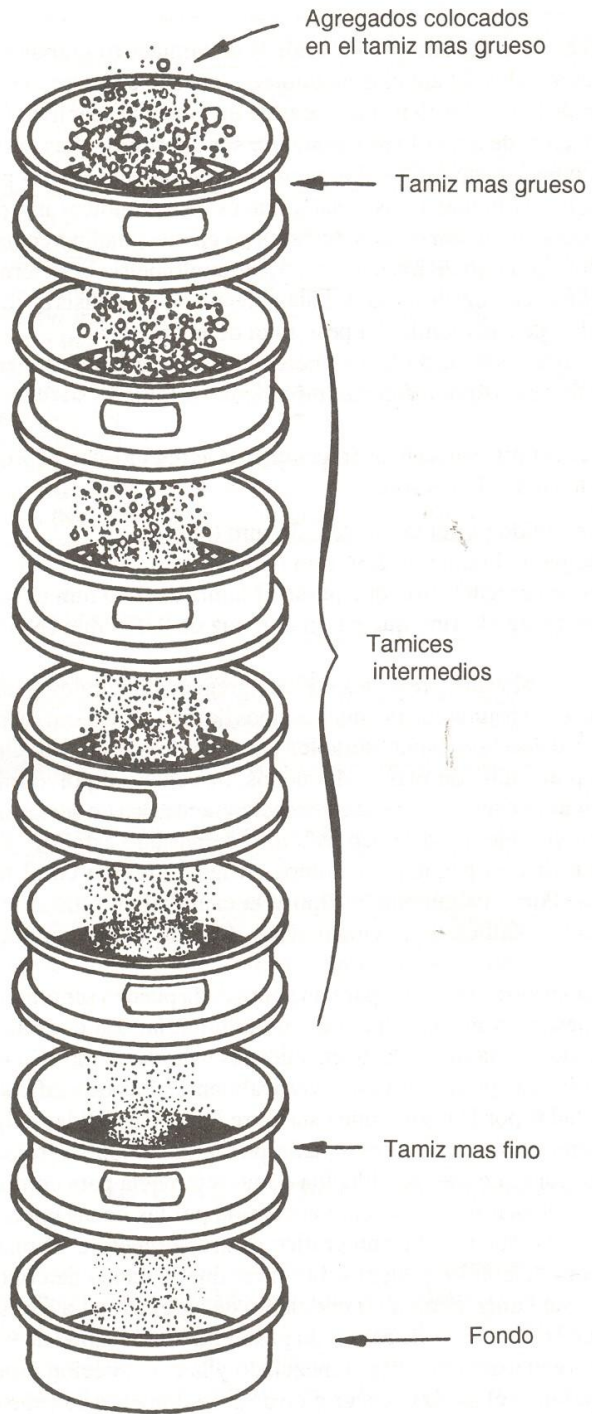
El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

- Tamaño máximo nominal de partícula, designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.
- Tamaño máximo de partícula, designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

Para ilustrar las diferencias entre las dos designaciones, considere el siguiente ejemplo:

Se efectúa un tamizado de una muestra de agregado que va a ser usada en una mezcla de pavimentación. El tamiz de 19mm (3/4 pulgada) retiene 4 por ciento de todas las partículas de agregado. El tamiz de 12.5 mm (1/2 pulgada), inmediatamente por debajo del tamiz de 19mm, retiene un total de 18 por ciento de todas las partículas de agregado. En este caso, el tamaño máximo nominal es 19 mm (3/4 pulgada), y el tamaño máximo es 25 mm (1 pulgada).

Una mezcla de pavimentación se clasifica de acuerdo su tamaño máximo o a su tamaño máximo nominal. Por lo tanto, en el ejemplo anterior la mezcla se denominaría "mezcla de 25 mm" de acuerdo al tamaño máximo del agregado, mientras que se denominaría "mezcla de 19 mm" de acuerdo al tamaño nominal del agregado.



TAMIZADO

Figura 4 – Análisis de tamices.

II.2.9.2. Granulometría del Agregado

La granulometría de partículas es determinada por un análisis de tamices (o granulometría) efectuado sobre las muestras de agregado. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno de los cuales tiene aberturas de un tamaño específico (Figura 4). Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos; y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores.

La granulometría del agregado, o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. La granulometría es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de tamices. Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra.

Los concretos asfálticos son clasificados de acuerdo a los porcentajes de partículas del agregado que contienen. La Tabla 5 ilustra cinco tipos diferentes de concreto asfáltico y sus contenido respectivos de agregado.

Ciertos términos son usados al hacer referencia a las fracciones de agregado, con el propósito de ayudar a la descripción de las mismas. Estos son:

- Agregado grueso- material retenido en el tamiz de 2.36mm (No.8).
- Agregado fino - material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No.8).
- Relleno mineral - fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.60 mm (No.30).
- Polvo mineral - fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0,075 mm (No.200).

El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y también son producidos, como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca. Ellos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable, y resistente a la penetración del agua. Sin embargo, un pequeño porcentaje de mas, o de menos, de relleno o polvo mineral, puede causar que la mezcla aparezca excesivamente seca o excesivamente rica (o sea, la mezcla de pavimentación aparecerá como si tuviera muy poco asfalto o demasiado asfalto). Dichos cambios en la mezcla pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de relleno o polvo mineral utilizado. Por consiguiente, el tipo y la cantidad de relleno y polvo mineral usados en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación deberán ser cuidadosamente controlados.

Las especificaciones de granulometría de agregado para una obra dada pueden ser presentadas gráficamente. La Figura 5 muestra un grafico típico de granulometría. En el grafico, los tamaños de los tamices, se muestran horizontalmente tanto en unidades métricas como en unidades habituales. El porcentaje de material que pasa se muestra verticalmente. Las especificaciones para una obra dada están representadas por la región que está entre las Líneas sólidas delgadas. La formula de la mezcla de pavimentación está representada por la línea sólida gruesa. La banda de control de granulometría para la obra establecida como referencia para controlar la granulometría en la obra está situada dentro de la región en cerrada por las líneas punteadas.

Examinemos, usando la Figura 5, que nos dice un grafico de granulometría. Tomando el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgada) como ejemplo, podemos observar que la banda de control de graduación permite que pase, por este tamiz, el 65 a 80 por ciento de agregado. La formula de la mezcla de la obra requiere que el 72 por ciento de agregado pase a través del tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgada). Sin embargo, el margen usado durante el mezclado y la construcción está entre el 65 y el 80 por ciento (material pasando el tamiz). Un grafico de granulometría permite que el inspector comprenda, rápida y

fácilmente, las graduaciones requeridas por la banda de especificaciones, por la formula de mezcla la obra, y por la banda de control de graduación de la obra.

Tabla 5 - Composición Típica del Concreto Asfáltico.

Tamaño de Tamiz	Designación de la Mezcla usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregado				
	37.5 mm (1 1/2 in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)
Porcentaje Total que Pasa (en peso)					
50 mm (2 in.)	100	—	—	—	—
37.5 mm (1 1/2 in.)	90 to 100	100	—	—	—
25.0 mm (1 in.)	—	90 to 100	100	—	—
19.0 mm (3/4 in.)	56 to 80	—	90 to 100	100	—
12.5 mm (1/2 in.)	—	56 to 80	—	90 to 100	100
9.5 mm (3/8 in.)	—	—	56 to 80	—	90 to 100
4.75 mm (No. 4)	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85
2.36 mm (No. 8)*	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67
1.18 mm (No. 16)	—	—	—	—	—
0.60 mm (No. 30)	—	—	—	—	—
0.30 mm (No. 50)	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23
0.15 mm (No. 100)	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)**	0 to 5	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10
Cemento Asfáltico, porcentaje en peso del total de la mezcla*	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12

*Cuando se consideran las características de la graduación total de una mezcla asfáltica, resulta ser que la cantidad de material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8) es un punto importante y conveniente de control de campo entre los agregados finos y los agregados gruesos. Las graduaciones que se aproximan a la cantidad máxima permitida que debe pasar por el tamiz de 2.36 mm resultaran en superficies de pavimento con textura relativamente fina. Las graduaciones que se aproximan al valor mínimo permitido resultaran en superficies con textura relativamente áspera.

**El material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No. 200) puede consistir de partículas finas de agregado o de relleno mineral, o de ambos. Este material deberá estar libre de materia orgánica y de partículas de arcilla, y deberá tener un índice de plasticidad no mayor a 4 cuando se usa el Método D 423 o D 424 de la ASTM.

*La cantidad de cemento asfáltico esta dada en porcentaje por peso de la mezcla total. La amplia diferencia en pesos específicos de varios agregados, así como la diferencia en absorción, resulta en el amplio margen de cantidad de asfalto requerida. Esta cantidad de asfalto requerida deberá determinarse usando las pruebas adecuadas de laboratorio, o con base en la experiencia previa con mezclas similares, o mediante una combinación de ambos metodos.

En la Tabla 6 se muestran los tamaños y números de tamices más frecuentemente usados en la graduación de agregado para mezclas asfálticas de pavimentación.

Los dos métodos usados para determinar la graduación de agregados son: tamizado en seco y tamizado por lavado. El tamizado en seco se usa generalmente con material agregado de graduación gruesa. Sin embargo, cuando las partículas de agregado están cubiertas de polvo o material limo-arcilloso, se debe efectuar un tamizado por lavado.

Tamizado en Seco

- Las muestras para el tamizado son reducidas por medio de un "cuarteador" de muestras, o mediante cuarteo manual.
- Los materiales finos y gruesos son separados usando un tamiz de 2.36 mm (No.8).
- Las muestras son secadas hasta un peso constante.
- Las muestras finas y las muestras gruesas son tamizadas separadamente.
- El peso de las fracciones (porciones) retenidas en cada tamiz, y en el platón que esta al final de los tamices, es registrado, así como la graduación de cada muestra (parte fina y parte gruesa).
- En la norma AASHTO T 27 se puede encontrar el procedimiento para tamizado en seco.

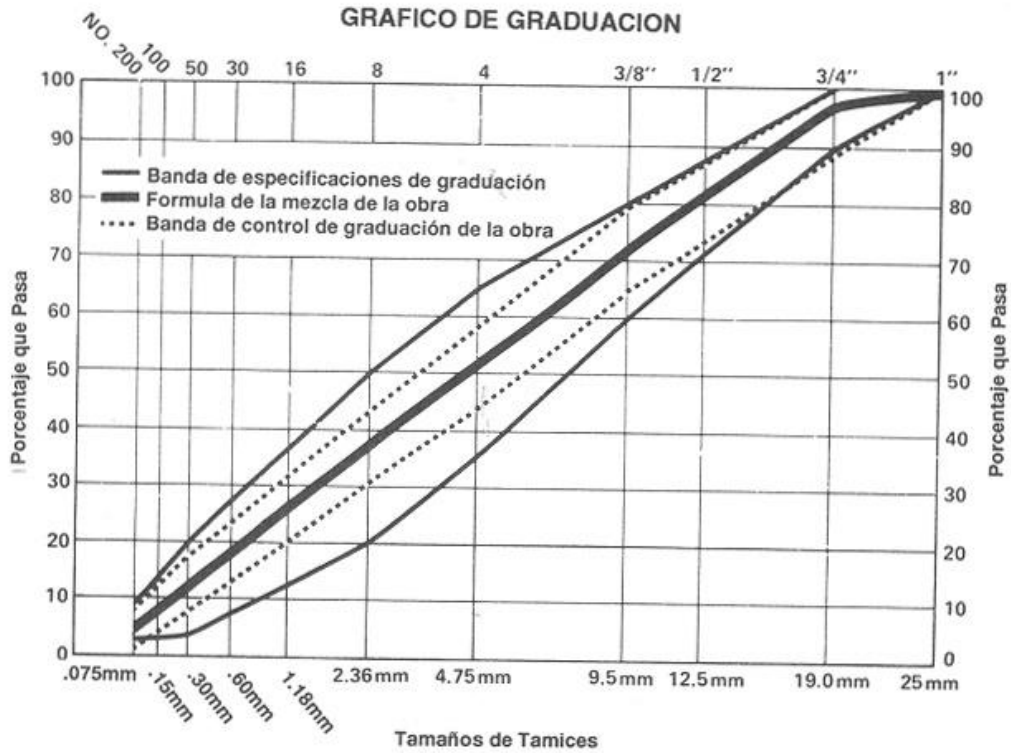


Figura 5 -Gráfico Típico de una Granulometría Exponencial y Ejemplo de una Banda de Granulometría.

Tamizado por vía húmeda

- Las muestras para este tipo de tamizado son lavadas a fondo para remover el polvo y el material limo-arcilloso, después de haber sido reducidas, separada, secadas y pesadas.
- Después de ser lavadas, las muestras son nuevamente secadas y pesadas. La diferencia en peso antes y después del lavado representa la cantidad de polvo y material limo-arcilloso en la muestra original.
- En la norma AASHTO T 11 se puede encontrar el procedimiento para tamizado por vía húmeda.

Tabla 6 – Tamaños típicos de tamices

Designación de Tamices para Agregados Gruesos		Designación de Tamices para Agregados Gruesos	
Sistema Métrico	Sistema Habitual Norteamericano	Sistema Métrico	Sistema Habitual Norteamericano
63 mm	2-1/2 in.	2.36 mm	No. 8
50 mm	2 in.	1.18 mm	No. 16
37.5 mm	1-1/2 in.	0.60 mm	No. 30
25.0 mm	1 in.	0.30 mm	No. 50
19.0 mm	3/4 in.	0.15 mm	No. 100
12.5 mm	1/2 in.	0.075 mm	No. 200
9.5 mm	3/8 in.		
4.75 mm	No. 4		

II.2.10. Cálculos Relacionados con el Agregado

En la siguiente sección se explican ciertos procedimientos necesarios para efectuar varios cálculos relacionados con el agregado. Se requiere que los inspectores sean capaces de efectuar estos cálculos, o que ayuden en la interpretación de los cálculos efectuados por otras personas. A continuación se incluyen cálculos relacionados con la granulometría, el proporcionamiento, y el peso específico.

- **Análisis de Granulometría** La Tabla 7 ilustra el método usado para determinar el porcentaje de partículas, de tamaño variable, a partir de los pesos de las fracciones obtenidas en el tamizado. Las granulometrías se expresan ya sea en porcentaje total que pasa (el porcentaje total, en peso, de muestra de agregado que pasa a través de un tamiz dado), porcentaje total retenido (el porcentaje total, en peso, de muestra de agregado que es retenido en un tamiz dado), o porcentaje total que pasa y retenido (el porcentaje total, en peso, de muestra de agregado que pasa a través de un tamiz dado y que es retenido en el tamiz que sigue hacia abajo). La granulometría del agregado, después de ser calculada, se dibuja como una curva continua. Dos tipos de curvas que generalmente

se usan son: curvas de gráficos semi-logarítmicos y curvas de gráficos exponenciales.

El grafico semi-logarítmico mostrado en la Figura 2.21 es similar al observado anteriormente en la Figura 2.24, en donde se presenta la formula de mezcla de la obra, la banda de especificaciones, y la banda de control de graduación. La línea mostrada en la Figura 2.27 ha sido dibujada utilizando información de un análisis de tamizado en seco.

El porcentaje que pasa cada tamiz es dibujado como un punto sobre la línea vertical correspondiente. Después de que se han dibujado todos los puntos para cada tamiz con su respectivo porcentaje, estos son unidos por medio de una línea continua. Esta línea representa la curva de granulometría del agregado en cuestión. Uno puede saber inmediatamente si la granulometría del agregado cumple con las especificaciones de gradación, si se dibuja la banda de especificaciones (Figura 5).

El grafico exponencial muestra, horizontalmente, los diferentes tamaños de tamiz como potencias de 0.45, La Figura 7 muestra la misma curva de granulometría que aparece en el grafico semi-Logarítmico de la Figura 6.

Tabla 7 – Datos de un análisis de tamices, convertidos en granulometría de agregado

Tamaño de Tamiz	Retenido en cada tamiz (gramos)	Pasando cada tamiz (gramos)	Porcentaje Total Pasando	Porcentaje Total Retenido	Porcentaje Pasando-Retenido*
19.0 mm (3/4-in.)	0	1135	100	0	5
12.5 mm (1/2-in.)	56	1079	95	5	15
9.5 mm (3/8-in.)	171	908	80	20	23
4.75 mm (No. 4)	262	646	57	43	18
2.36 mm (No. 8)	203	443	39	61	16
0.60 mm (No. 30)	182	261	23	77	6
0.30 mm (No. 50)	68	193	17	83	5
0.15 mm (No. 100)	57	136	12	88	4.5
0.075 mm (No. 200)	51	85	7.5	92.5	7.5
Platon	85				

Total = 1135

*Pasando el tamiz correspondiente, retenido en el tamiz siguiente (mas pequeño).

II.2.10.1 Cálculos de Proporcionamiento.

El análisis de granulometría de agregado, y la combinación de agregados para obtener la granulometría deseada, son pasos importantes en el diseño de la mezcla. La granulometría del agregado debe satisfacer los requisitos de graduación impuestos por las especificaciones del proyecto y debe producir un diseño de mezcla que cumpla con los criterios descritos en el método de diseño.

Además, los agregados deberán ser los más apropiados y económicos que puedan ser encontrados.

El Apéndice E describe un plan recomendado para analizar agregados que van a ser usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. Los métodos ilustrados en los ejemplos del apéndice se aplican en la combinación y ajuste de granulometrías de agregado cuando se está controlando la mezcla en el laboratorio. También se aplican en el control de la producción de agregados y en el control de planta durante la construcción.

Para poder obtener la granulometría de referencia es necesario determinar proporciones exactas de cada agregado cuando estos se están combinando. Para calcular estas proporciones se han desarrollado procedimientos matemáticos.

Calculo de Peso Específico. El peso específico de un agregado es la proporción entre el Peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso.

Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico más alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de

agregado, mas asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso especifico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso especifico más alto (menos volumen).

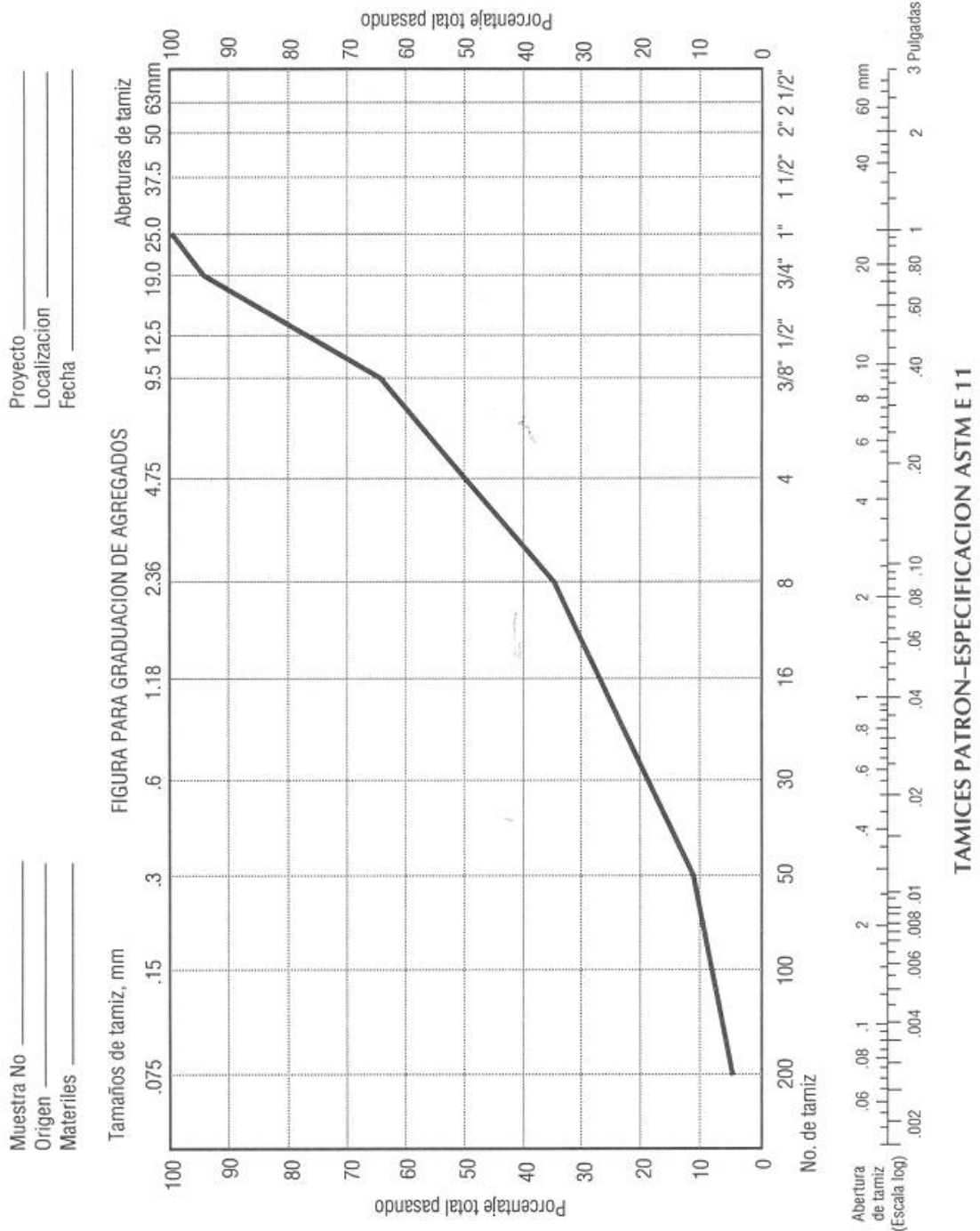


Figura 6 – Curva de graduación en la figura semi-logarítmica

FIGURA DE GRADUACION DE LA POTENCIA 0.45

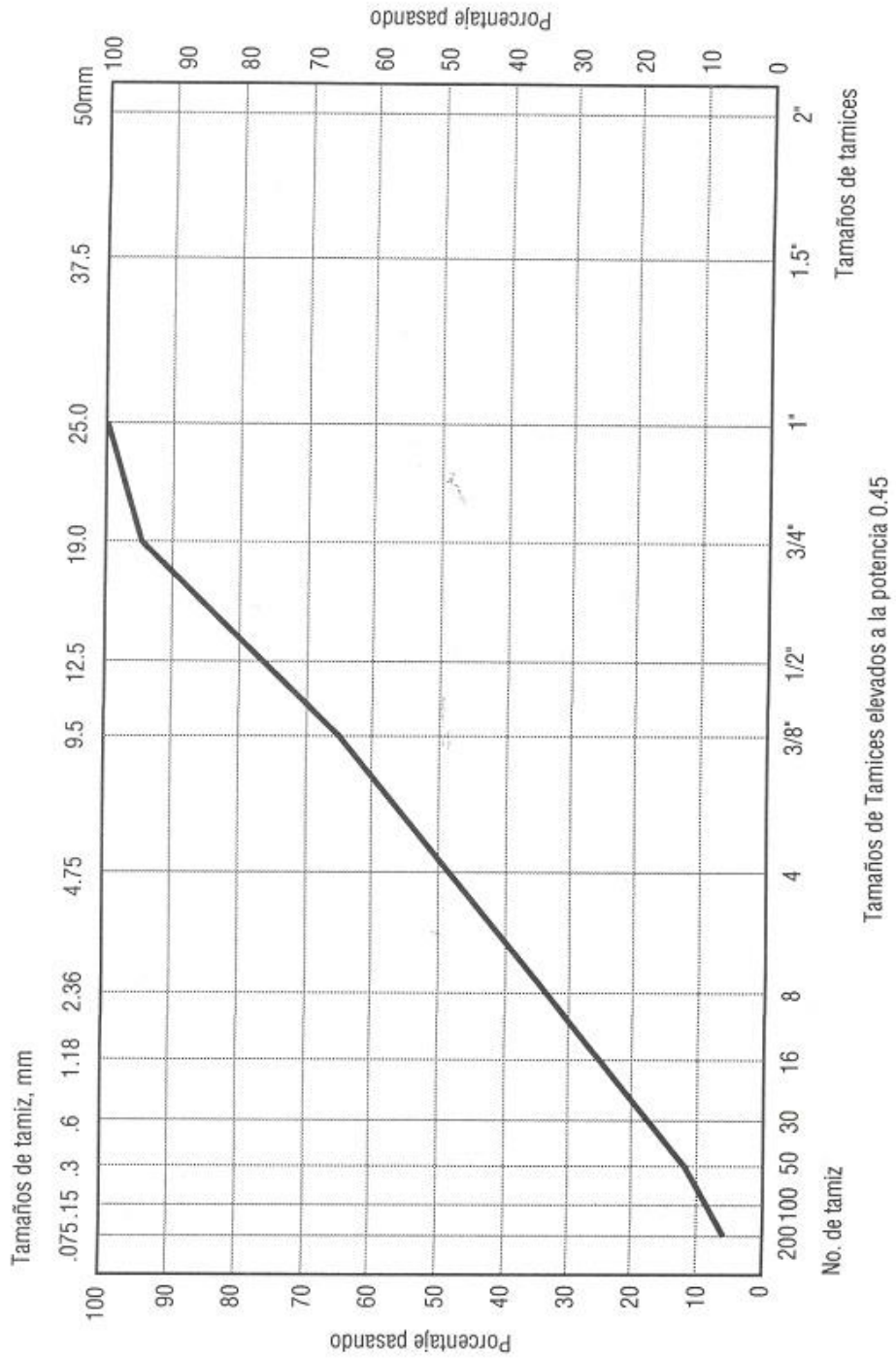


Figura 7 – Curva de graduación en la figura de potencias 0.45

Otra razón importante por la cual es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es que este ayuda en el cálculo del porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas. Todas las mezclas de pavimentación deben incluir un cierto porcentaje (en volumen) de vacíos o espacios de aire.

Diseño de Mezclas. Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla de pavimentación y luego restando, de su valor, los pesos específicos del agregado y el asfalto que conforman la mezcla. El resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra.

Todos los agregados son, hasta cierto punto, porosos. Se han desarrollado tres tipos de peso específico (Figura 8) para tener en cuenta la porosidad del agregado, debido a que esta afecta la cantidad de asfalto que se requiere para cubrir las partículas de agregado y también el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla final. Estos tres tipos son:

- Peso específico total
- Peso específico aparente, y
- Peso específico efectivo

El peso específico total de una muestra incluye todos los poros de la muestra.

El peso específico aparente no incluye, como parte del volumen de la muestra, los poros y espacios capilares que se llenarían de agua al mojar la muestra.

El peso específico efectivo excluye, del volumen de la muestra, todos los poros y espacios capilares que absorben asfalto.

El peso específico total asume que los poros que absorben agua no absorben asfalto. El peso específico aparente asume que todos los poros que son permeables al agua absorben asfalto. Ninguna de estas suposiciones, excepto en casos muy raros, es verdadera. Por lo tanto, el peso específico efectivo, el cual discrimina entre poros permeables al agua y poros permeables al asfalto, es el que más se acerca al valor correcto que debe ser usado en los cálculos de mezclas asfálticas.

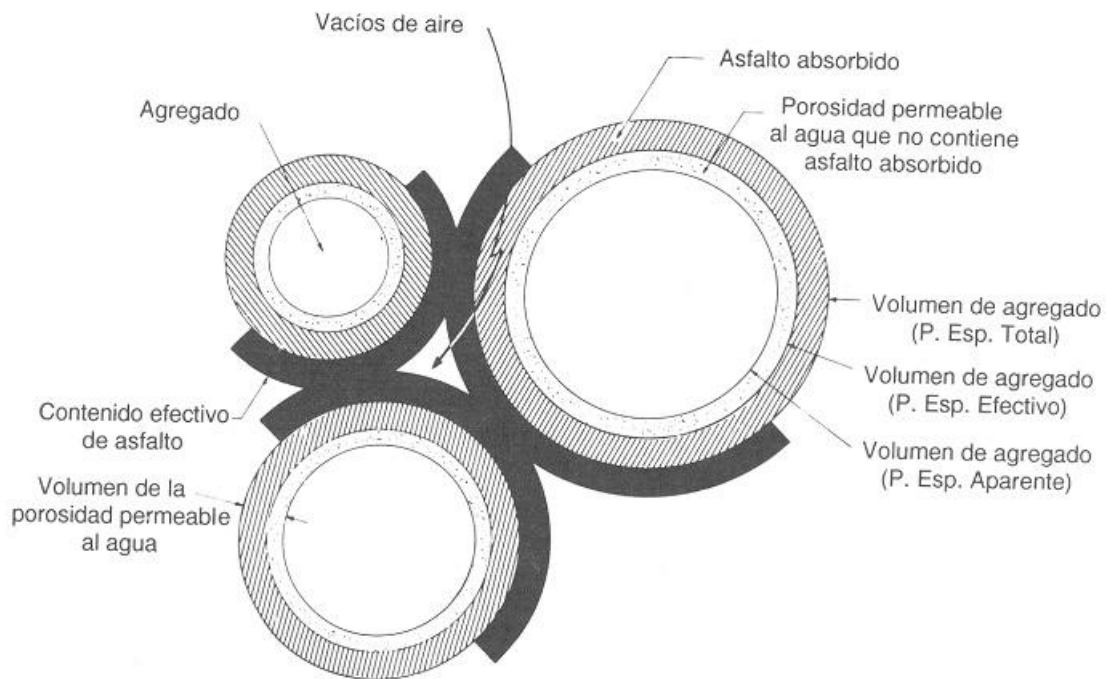


Figura 8 – Varios tipos de pesos específicos de agregado.

II.2.11. Limpieza

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etcétera) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento.

La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de

agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable más fino que 0.075 mm (No, 200). El ensayo de equivalente-arena (AASHTO T 176) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción (porción) de agregado que pasa el tamiz de: 4.75 mm (No, 4).

II.2.12. Dureza

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación, y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento, Los agregados que están en, o cerca de, la superficie, deben ser más duros (tener más resistencia) que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito.

El ensayo de desgaste de Los Ángeles (AASHTO T96) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión. El equipo usado en el ensayo se muestra en la Figura 9.

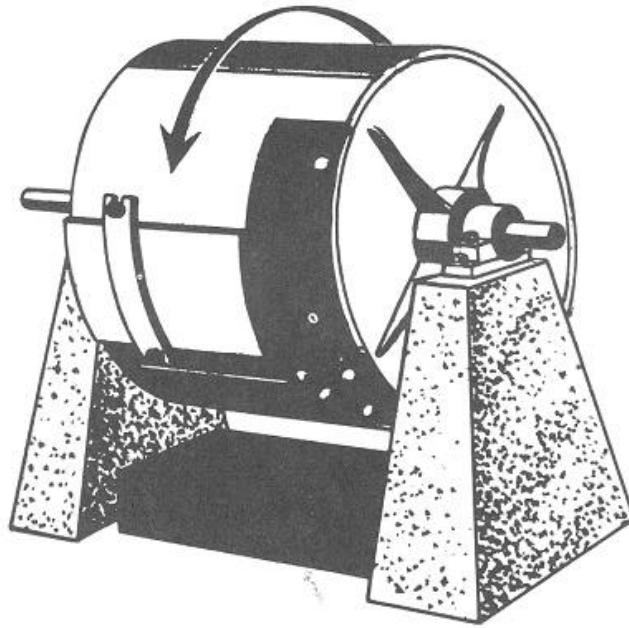


Figura 9 – Máquina de desgaste de los Ángeles.

II.2.13. Forma de la Partícula

La forma de la partícula (Figura 10) afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente es con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre, por trituración.

Muchas de las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedra

o grava triturada. Las partículas finas de agregado suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y provienen generalmente de arena naturales.

II.2.14. Textura Superficial

La textura superficial (Figura 10) de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas, El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan solo una característica, como la forma de la partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

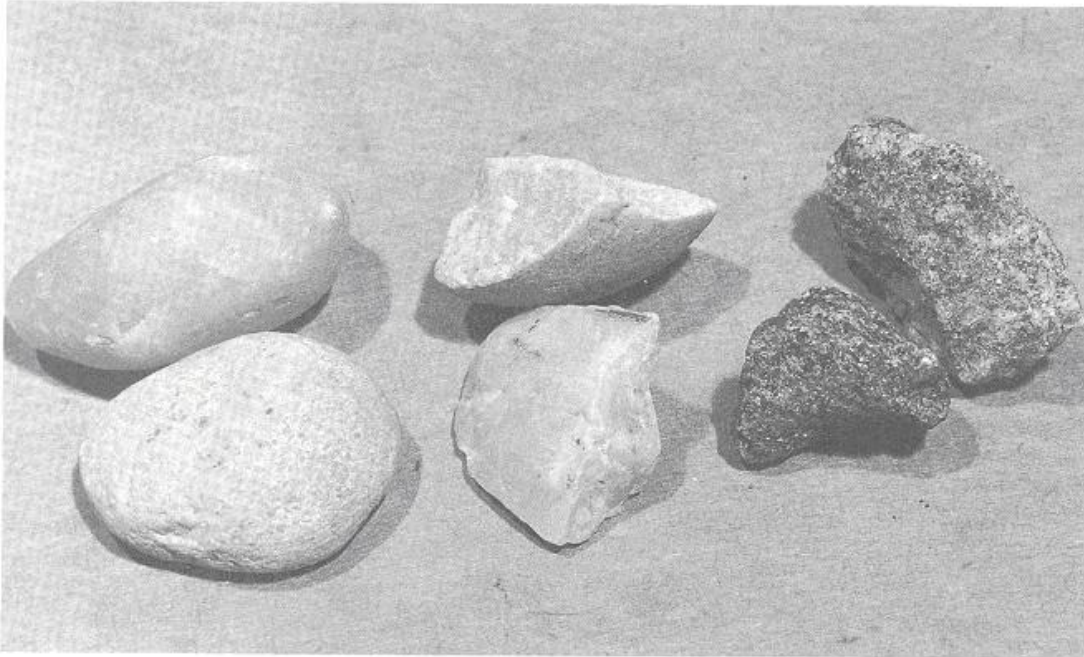


Figura 10 – Agregados con diferentes formas y texturas superficiales.

II.2.15. Capacidad de Absorción

Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros. La cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continúa absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mucho mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso.

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos de que posean otras características que los hagan deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos. Estos

materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

II.2.16. Afinidad por el Asfalto

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas, y las rocas trapecianas (cuadriláteros irregulares), tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silicios (e.g. cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

No es muy claro el porqué los agregados hidrofóbicos e hidrofílicos se comportan de tal manera. A pesar de esto, existen varios ensayos para determinar su afinidad con el asfalto y su tendencia al desprendimiento. En uno de estos ensayos, la mezcla de agregado-asfalto, sin compactar, es sumergida en agua, y las partículas cubiertas son observadas visualmente. En otro ensayo, comúnmente conocido como ensayo de inmersión-compresión, dos muestras de mezcla son preparadas y una es sumergida en agua. Posteriormente, ambas son ensayadas para determinar sus resistencias. La diferencia en resistencia es considerada un indicativo de la susceptibilidad del agregado al desprendimiento.

III.1. Plástico.

III.1.1. Plástico.

Materiales polímeros orgánicos (compuestos formados por moléculas orgánicas gigantes) que son plásticos, es decir, que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno y el nailon.

Los plásticos se caracterizan por una alta relación resistencia/densidad, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes. Las enormes moléculas de las que están compuestos pueden ser lineales, ramificadas o entrecruzadas, dependiendo del tipo de plástico. Las moléculas lineales y ramificadas son termoplásticas (se ablandan con el calor), mientras que las entrecruzadas son termoestables (no se ablandan con el calor).

III.1.2. HISTORIA

El desarrollo de estas sustancias se inició en 1860, cuando el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa de 10.000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural. Una de las personas que optaron al premio fue el inventor estadounidense Wesley Hyatt, quien desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de alcohol. Si bien Hyatt no ganó el premio, su producto, patentado con el nombre de celuloide, se utilizó para fabricar diferentes objetos, desde placas dentales a cuellos de camisa. El celuloide tuvo un notable éxito comercial a pesar de ser inflamable y deteriorarse al exponerlo a la luz.

Durante las décadas siguientes aparecieron de forma gradual más tipos de plásticos. Se inventaron los primeros plásticos totalmente sintéticos: un grupo de plásticos termoestables o resinas desarrollado hacia 1906 por el químico estadounidense de origen belga Leo Hendrik Baekeland, y comercializado con el nombre de baquelita. Entre los productos desarrollados durante este periodo están los polímeros naturales alterados, como el rayón, fabricado a partir de la celulosa, del nitrato de celulosa o del etanoato de celulosa.⁴

⁴"Plásticos." *Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001*. © 1993-2000 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

Clasificación⁵

De acuerdo a su importancia comercial por sus aplicaciones en el mercado, se encuentran los denominados COMODITIES los cuales son:

Tabla 8 – Clasificación de los plásticos.

Nombre	Abreviatura (opcional)	Número de identificación
Polietilentereftalato	PET o PETE	1
Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE	2
Policloruro de vinilo o Vinilo	PVC o V	3
Polietileno de baja densidad	PEBD o LDPE	4
Polipropileno	PP	5
Poliestireno	PS	6
Otros	Otros	7

(El código de Identificación es adoptado en México el 25 de Noviembre de 1999 en la NMX-E-232-SCFI-1999 basado en la identificación de Europa y países de América)

INFORMACIÓN POR RESINA:

⁵ "Enciclopedia del Plástico 2000"; Centro Empresarial del Plástico

PET:

El Polietilen Tereftalato (PET) es un Poliéster Termoplástico y se produce a partir de dos compuestos principalmente: Ácido Terftálico y Etilenglicol, aunque también puede obtenerse utilizando Dimetiltereftalato en lugar de Ácido Tereftálico. Este material tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino. El Polietilen Tereftalato en general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia, resistencia química; esta resina es aceptada por la Food and Drugs Administration (FDA).

Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y, de mayor peso molecular, grado ingeniería.

Aplicaciones

En la actualidad se están abriendo cada vez más nuevos campos de aplicación y se desarrollan botellas PET de alta calidad y reducido peso, entre sus aplicaciones más importantes dentro de los siguientes sectores:

a) Envase y Empaque

Las firmas de maquinaria han contribuido en gran medida a impulsar la evolución de manera rápida de los envases, por lo que hoy se encuentran disponibles envases para llenado a temperaturas normales y para llenado en caliente; también se desarrollan envases muy pequeños desde 10 mililitros hasta garrafones de 19 litros. Los tarros de boca ancha son utilizados en el envasado de conservas alimenticias.

La participación del PET dentro de este mercado es en:

Bebidas Carbonatadas

Agua Purificada

Aceite

Conservas

Cosméticos.

Detergentes y Productos Químicos

Productos Farmacéuticos

b) Electro-electrónico: Este segmento abarca diversos tipos de películas y aplicaciones desde las películas ultradelgadas para capacitores de un micrómetro o menos hasta de 0.5 milímetros, utilizadas para aislamiento de motores. Los capacitores tienen material dieléctrico una película PET empleada para telecomunicaciones, aparatos electrónicos entre otros.

c) Fibras (telas tejidas, cordeles, etc.): En la industria textil, la fibra de poliéster sirve para confeccionar gran variedad de telas y prendas de vestir.

Debido a su resistencia, el PET se emplea en telas tejidas y cuerdas, partes para cinturones, hilos de costura y refuerzo de llantas. Su baja elongación y alta tenacidad se aprovechan en refuerzos para mangueras. Su resistencia química permite aplicarla en cerdas de brochas para pinturas y cepillos industriales.

POLIESTIRENO

El Poliestireno es un polímero que se obtiene a partir de un monómero llamado Estireno, el cual también se conoce con los nombres de vinilbenceno, feniletileno, estírol o estiroleno.

Este material ha tenido gran desarrollo en los últimos años y ha formado un grupo de plásticos denominados: familia de Polímeros de Estireno, en los que se incluyen:

- Poliestireno Cristal o de Uso General (PS)
- Poliestireno Grado Impacto (PS-I)
- Poliestireno Expansible (EPS)
- Estireno/Acrilonitrilo (SAN)
- Copolímero en Bloque de Estireno/Butadieno/Estireno (SBS)
- Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS)
- Aleaciones

Poliestireno Cristal.- Es un material amorfo de alto peso molecular (200,000 a 300,000 (g/gmol), de baja densidad, duro, con buenas propiedades ópticas, mínima absorción de agua, buena estabilidad dimensional y aislamiento eléctrico.

Resiste ácidos orgánicos e inorgánicos concentrados y diluidos (excepto los altamente oxidantes), alcoholes, sales y álcalis. Es atacado por ésteres, cetonas, hidrocarburos aromáticos, clorados y aceites etéreos. Tiene brillo y transparencia.

Es sensible a la luz solar, por lo que para retardar su degradación se deben adicionar absorbedores de luz ultravioleta.

Presenta baja resistencia al impacto y estabilidad térmica. Se obtiene en forma de gránulos parecidos al vidrio.

Se utiliza en la fabricación de envases para productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos como blíster, vasos, tapas.

Poliestireno Expansible (EPS).- Es un material dúctil y resistente a temperaturas bajo cero, pero a temperaturas elevadas, aproximadamente a 88°C, pierde sus propiedades.

Debido a ello, y a su bajo coeficiente de conductividad térmica, se utiliza como aislante a bajas temperaturas. Posee poder de amortiguamiento, es decir, permite absorber la energía producida por golpes y vibraciones. Flota en el agua y es completamente inerte a los metales.

Resiste la mayoría de los ácidos, soluciones alcalinas y saladas, sin importar su concentración. También resiste a la temperatura e intemperie, no es tóxico. Sin embargo, no es resistente a solventes orgánicos o aceites minerales.

Debido a su estructura celular presenta valores bajos de transmisión de vapor y de absorción de agua. Es combustible, por lo que en ocasiones se la adicionan retardantes de flama. Es resistente a los microorganismos y cuenta con buenas propiedades de aislamiento acústico.

El EPS es uno de los termoplásticos más versátiles por lo que tiene aplicación en varios sectores como los siguientes:

- Edificación
- Vivienda
- Especialidades Industriales
- Cuerpos Moldeados
- Envases

Otra aplicación importante en Envase es la perla expandida para protección, las cuales sirven para rellenar las cajas de cartón corrugado donde se contengan productos frágiles.

Poliestireno Grado Impacto (PS-I).- Los diferentes grados que existen de estos materiales (Medio y Alto Impacto), presentan propiedades similares a las del Poliestireno de uso general. Su color natural va de translúcido a opaco.

Se ven afectados con la exposición continua a las radiaciones de luz UV, ofrecen limitada resistencia a solventes aromáticos y clorados. Poseen alta rigidez y dureza, presentan bajas propiedades de barrera, poca resistencia a la grasa y a temperaturas elevadas. Con un adecuado balance de propiedades tienen excelente procesabilidad para inyección, extrusión y termoformado.

Son estables térmicamente, tienen niveles muy bajos de materia volátil y poseen una resistencia al impacto entre dos y cuatro veces superior al PS Cristal, según el contenido y tipo de elastómero.

Resiste con limitaciones ácidos y álcalis, no resiste disolventes orgánicos como bencina, cetonas, hidrocarburos aromáticos y clorados, ni aceites etéricos.

El PS-I tiene las siguientes aplicaciones:

a) Poliestireno Medio Impacto:

- Piezas rígidas con brillo e impacto
- Industria del envase y empaque (platos y vasos desechables)
- Artículos Escolares
- Juguetes

b) Poliestireno Alto Impacto:

- Asientos sanitarios
- Carretes Industriales
- Carcazas de Electrodomésticos
- Juguetes
- Cubiertas de cassettes

Los polímeros de estireno son de gran relevancia en el mercado, ocupan el cuarto lugar del consumo, y ello se debe a sus abundantes variedades de aplicaciones debidas a sus propiedades y fácil moldeo.

POLIETILENO

Antiguamente llamado "Polimetileno", el Polietileno pertenece al grupo de los polímeros de las Poliolefinas, que provienen de alquenos (hidrocarburos con dobles enlaces). Son polímeros de alto peso molecular y poco reactivos debido a que están formados por hidrocarburos saturados. Sus macromoléculas no están unidas entre sí químicamente, excepto en los productos reticulados.

Los Polietilenos se clasifican principalmente en base a su densidad (de acuerdo al código ASTM) como:

- Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)
- Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)
- Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW-HDPE)
- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

Si la densidad del polietileno aumenta, aumentan también propiedades como la rigidez, dureza resistencia a la tensión, resistencia a la abrasión, resistencia química, punto de reblandecimiento e impacto a bajas temperaturas. Sin embargo, este aumento significa una disminución en otras propiedades como el brillo, resistencia al rasgado y la elongación.

PEBD.- Es un material translúcido, inodoro, con un punto de fusión promedio de 110°C. Tiene conductividad térmica baja. Sus principales aplicaciones son dentro del sector del envase y empaque (bolsas, botellas, películas, sacos, tapas para botellas, etc.) y como aislante (baja y alta tensión).

PELBD.- Presenta una buena resistencia a la tracción, al rasgado y a la perforación o punción, buena resistencia al impacto a temperaturas muy bajas (hasta -95°C) y en películas posee excelente elongación. Sus principales aplicaciones son como película encojible, película estirable, bolsas grandes para uso pesado, acolchado agrícola, etc.

PEAD.- Presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) que el PEBD y el PELBD, debido a su mayor densidad. Presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión. No resiste a fuertes agentes oxidantes como ácido nítrico, ácido sulfúrico fumante, peróxidos de hidrógeno o halógenos. Sus principales aplicaciones son en el sector de envase y empaque (bolsas para mercancía, bolsas para basura, botellas para leche y yoghurt, cajas para transporte de botellas, etc.), en la industria eléctrica (aislante para cable), en el sector automotriz (recipientes para aceite y gasolina, tubos y mangueras), artículos de cordelería, bandejas, botes para basura, cubetas, platos, redes para pesca, regaderas, tapicerías juguetes, etc.

HMW-HDPE.- Presenta propiedades como buena resistencia al rasgado, amplio rango de temperaturas de trabajo (de -40 a 120°C), impermeabilidad al agua y no guarda olores. Sus principales aplicaciones son en película, bolsas, empaque para alimentos, tubería a presión, etc.

UHMWPE.- Es un material altamente cristalino con una excelente resistencia al impacto, aún en temperaturas bajas de -200°C, tiene muy bajo coeficiente de fricción, no absorbe agua, reduce los niveles de ruido ocasionados por impactos, presenta resistencia a la fatiga y es muy resistente a la abrasión (aproximadamente 10 veces mayor que la del acero al carbón). Tiene muy buena resistencia a medios agresivos, incluyendo a fuertes agentes oxidantes,

a hidrocarburos aromáticos y halogenados, que disuelven a otros polietilenos de menor peso molecular. Sus principales aplicaciones son en partes y refacciones para maquinaria.

POLIPROPILENO

El Polipropileno es un termoplástico que pertenece a la familia de las Poliolefinas y que se obtiene a partir de la polimerización del propileno, el cual es un gas incoloro en condiciones normales de temperatura y presión, que licúa a -48°C . También se conoce al propileno como "propeno".

El Polipropileno puede clasificarse por las materias primas que se utilizan en su elaboración y por su estructura química:

- Por Materias Primas:
 - Homopolímero
 - Copolímero Impacto
 - Copolímero Random
- Por Estructura Química:
 - Isotáctico
 - Sindiotáctico

Polipropileno Homopolímero.- Presenta alta resistencia a la temperatura, puede esterilizarse por medio de rayos gamma y óxido de etileno, tiene buena resistencia a los ácidos y bases a temperaturas debajo de 80°C , pocos solventes orgánicos lo pueden disolver a temperatura ambiente. Posee buenas propiedades dieléctricas, su resistencia a la tensión es excelente en combinación con la elongación, su resistencia al impacto es buena a temperatura ambiente, pero a temperaturas debajo de 0°C se vuelve frágil y quebradizo.

El Polipropileno Homopolímero tiene las siguientes aplicaciones principalmente:

- a) Película
- b) Rafia
- c) Productos Médicos (jeringas, instrumentos de laboratorio, etc.)

Polipropileno Copolímero.- Presenta excelente resistencia a bajas temperaturas, es más flexible que el tipo Homopolímero, su resistencia al impacto es mucho mayor y aumenta si se modifica con hule EPDM, incrementando también su resistencia a la tensión al igual que su elongación; sin embargo, la resistencia química es inferior que el Homopolímero, debilidad que se acentúa a temperaturas elevadas.

El Polipropileno Copolímero Impacto se utiliza en los siguientes sectores:

- a) Sector de Consumo (Tubos, perfiles, juguetes, recipientes para alimentos, cajas, hieleras, etc.)
- b) Automotriz (Acumuladores, tableros, etc.)
- c) Electrodomésticos (Cafeteras, carcasas, etc.)

Polipropileno Copolímero Random.- Las propiedades más sobresalientes del Copolímero Random son: el incremento en transparencia, flexibilidad y resistencia al impacto. Posee un índice de fluidez desde 1 g/10 min para soplado hasta 30g/10 min para inyección.

Sus principales aplicaciones son:

- a) Botellas (Vinagre, agua purificada, cosméticos, salsas, etc.)
- b) Película
- c) Consumo (Popotes, charolas, etc.)

PVC

El Policloruro de Vinilo (PVC) es un polímero termoplástico resultante de la asociación molecular del monómero Cloruro de Vinilo.

Por sí solo es el más inestable de los termoplásticos, pero con aditivos es el más versátil y puede ser sometido a variados procesos para su transformación, lo que le ha hecho ocupar, por su consumo, en el segundo lugar mundial detrás del Polietileno.

El PVC puede clasificarse de cuatro maneras:

- Por su método de producción:
 - Suspensión, Dispersión, Masa, Solución
- Peso Molecular:
 - Alto, Medio y bajo
- Tipo de Monómeros:
 - Homopolímeros y Copolímeros
- Formulación:
 - Rígido y Flexible

Propiedades

El PVC es un material esencialmente amorfo con porciones sidiotácticas que no constituyen más de 20% del total, generalmente cuenta con grados de cristalinidad menores.

La gran polaridad que imparte el átomo de cloro transforma al PVC en un material rígido. Algunos de sus grados aceptan fácilmente diversos plastificantes, modificándolo en flexible y elástico. Esto explica la gran versatilidad que caracteriza a este polímero, empleado para fabricar artículo de gran rigidez y accesorios para tubería, productos semiflexibles como perfiles para persianas y otros muy flexibles como sandalias y películas.

El PVC es un polvo blanco, inodoro e insípido, fisiológicamente inofensivo. Tiene un contenido teórico de 57% de cloro, difícilmente inflamable, no arde por sí mismo. La estructura de la partícula a veces es similar a la de una bola de algodón. El diámetro varía dependiendo del proceso de polimerización. Del proceso de suspensión y masa, se obtienen partículas de 80 a 200 micras, por dispersión de 0.2 a 4 micras y por solución de 0.2 micras. La configuración de las partículas de PVC, varía desde esferas no porosas y lisas hasta partículas irregulares y porosas.

El PVC especial para compuestos flexibles, debe poseer suficiente y uniforme porosidad para absorber los plastificantes rápidamente. Para compuestos rígidos, la porosidad es menos importante, debido a que a menor rango se obtiene mayor densidad aparente.

Para formular un compuesto de PVC, se requiere escoger la resina conforme a los requerimientos en propiedades físicas finales, como flexibilidad, procesabilidad y aplicación para un producto determinado.

La estructura del PVC puede ser comparada con la del Polietileno. La diferencia radica en que un átomo de la cadena del Polietileno es sustituido por un átomo de cloro en la molécula de PVC. Este átomo aumenta la atracción entre las cadenas polivinílicas, dando como resultado un polímero rígido y duro.

Aplicaciones

Segmento rígido:

- Tubería

- Botellas (Aceites comestibles, shampoos y agua purificada)

- Película y Lámina

- Perfiles

Segmento Flexible:

- Calzado

- Película

- Recubrimiento de cable y alambre

- Perfiles

- Loseta

Los Plásticos a utilizar en las pruebas son los siguientes:

Tabla 9 – Plásticos utilizados y punto de fusión

Tipo de Plástico	Punto de Fusión
PVC (El Policloruro de Vinilo)	130 °C
ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno)	110 °C
PEBD (Polietileno de Baja Densidad)	110 °C
HDPE (Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular)	120 °C

Estos plásticos fueron proporcionados por las recicladoras de nogales, estas empresas se encargan de recolectarlos en las maquilas, ellos los clasifican y trituran para empaquetarlos y enviarlos a otras ciudades donde lo procesan de nuevo.

MEZCLAS ASFALTICAS.

El concreto asfáltico (al que nos referimos en algunas ocasiones como mezcla asfáltica caliente o solamente HMA), es un material de pavimentación que consiste de un ligante asfáltico con agregados minerales. El ligante asfáltico, así como el cemento asfáltico o el cemento asfáltico modificado, actúan como un agente ligante pegando las partículas de los agregados en una densa masa haciendo la mezcla resistente al agua. Una vez mezclados los componentes, los agregados minerales actúan como una armazón de piedra para impartir fuerza y tensión al sistema. El desempeño de la mezcla es afectado por los dos componentes, tanto en forma individual como combinada.

COMPORTAMIENTO DEL LIGANTE ASFALTICO.

Las características del ligante asfáltico son importantes en el desempeño: susceptibilidad a la temperatura, viscoelasticidad y envejecimiento.

La susceptibilidad a la temperatura implica que cuando el asfalto está frío es más duro. Es por esto que cada prueba de cemento asfáltico o mezcla debe estar acompañada de sus especificaciones sobre temperatura. Sin estas especificaciones la prueba no puede ser interpretada en forma precisa. Por la misma razón, el comportamiento del cemento asfáltico también depende del tiempo de carga, el asfalto es más duro en periodos cortos de carga. Esta dependencia al tiempo de carga y la temperatura significan que estos dos factores pueden ser intercambiables. Esto es, una carga lenta puede ser simulada con altas temperaturas y una carga rápida puede simularse con bajas temperaturas.

El cemento asfáltico es un material viscoelástico ya que simultáneamente

despliega ambas características elástico y viscoso. En altas temperaturas ($>100^{\circ}\text{C}$), el cemento asfáltico actúa casi completamente como un fluido viscoso, desplegando una consistencia como la de un lubricante como el aceite de motor. A bajas temperaturas ($< 0^{\circ}\text{C}$), el comportamiento es más parecido a un sólido elástico, volviendo a su condición original cuando se carga y se descarga. A temperaturas intermedias, como las que se encuentran en muchos de los sistemas de pavimentación, el cemento asfáltico presenta ambas características.

Ya que el asfalto es orgánico, reacciona con el oxígeno del medio ambiente. La oxidación cambia la estructura y composición de sus moléculas. La oxidación causa que el asfalto se haga más frágil o quebradizo, o endurecido, o envejece. La oxidación ocurre más rápidamente a altas temperaturas. Un mayor endurecimiento ocurre durante la producción de HMA, cuando el cemento asfáltico es calentado para facilitar la mezcla y compactación. Es por esto que la oxidación es más preocupante cuando es utilizado en caliente o climas desérticos.

Las características del cemento asfáltico bajo las variaciones de temperatura, tiempos de carga y el estado de envejecimiento determinan su habilidad de desempeñarse como un ligante en los sistemas de pavimentación. Las pruebas y especificaciones utilizadas para medir y controlar estas características en el sistema Superpave son discutidas en SP-1 del Instituto del Asfalto.

COMPORTAMIENTO DE LOS AGREGADOS MINERALES.

Una gran variedad de agregados minerales se utilizan para producir HMA. Los agregados naturales son sacados simplemente de depósitos glaciares o ríos y son utilizados para promover el proceso de producción del HMA. Estos

materiales son también llamados materiales de banco. Los agregados procesados son explotados, triturados, separados de acuerdo a su tamaño, lavados o procesados para alcanzar ciertas características de desempeño para el HMA final. Los materiales sintéticos son aquellos que no son sacados o explotados y en general son productos industrializados, así como la escoria de fundición. Ocasionalmente, un agregado sintético se incluye para realzar alguna característica en especial del HMA. Por ejemplo una arcilla o pizarra expansible ligera, se utiliza algunas veces para aumentar la resistencia. Inclusive un pavimento existente puede ser removido para producir HMA. Por consiguiente el RAP o el Pavimento Asfáltico Reciclado es una importante fuente de agregados.

Además de la fuente, el método de procesamiento, o la mineralogía, los agregados deben proveer de la suficiente fuerza para soportar repetidas aplicaciones de carga. Cuando una masa de agregados es sobrecargada, se desarrolla un plano deslizante y las partículas de agregados se deslizan o esquilan (cortan en forma de campana) con respecto a las otras (Figura 10), resultando una deformación permanente. Con el tiempo la tensión excede a la fuerza o resistencia de la masa de agregados. La resistencia de esfuerzo cortante es de suma importancia en el HMA, ya que provee de una mezcla primaria de resistencia a la formación de roderas.

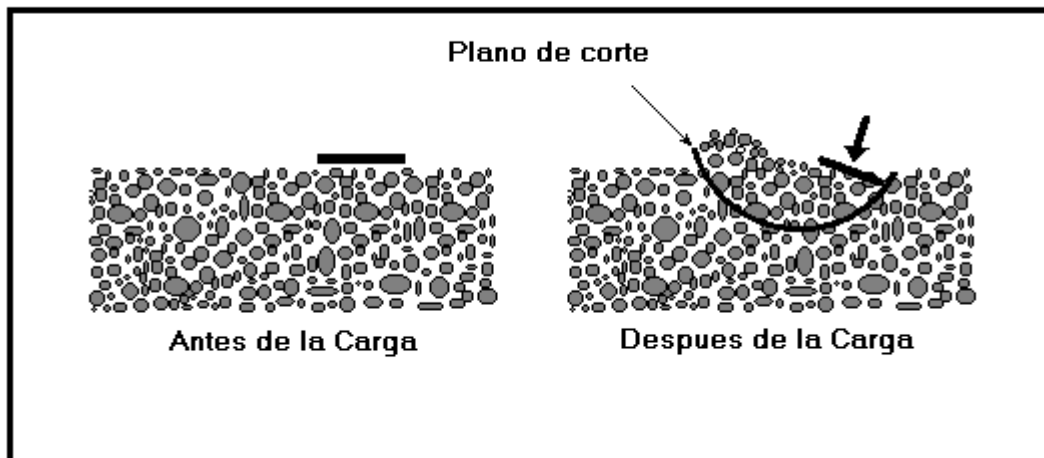


Figura 11 – Comportamiento del agregado al corte con la carga.

Los agregados tienen relativamente poca cohesión. Es por esto que la resistencia al esfuerzo cortante son primordiales en la resistencia al movimiento, o fricción interna que proveen los agregados. La textura rugosa cúbica de los agregados provee mayor resistencia que la redonda (Figura 11). Cuando se carga, los agregados tienden a ser más fuertes debido a que la fuerza de carga mantiene a los agregados más juntos e incrementa la resistencia. Aún cuando las piezas cúbicas y redondas de los agregados pueden poseer la misma fuerza inherente, las partículas de agregados cúbicos tienden a cerrarse más, resultando una masa de material más fuerte. Las partículas de agregados redondas tienden a deslizarse entre ellas. La fricción interna provee a los agregados la habilidad de cerrarse y de crear masas casi tan fuertes como cada partícula sola.

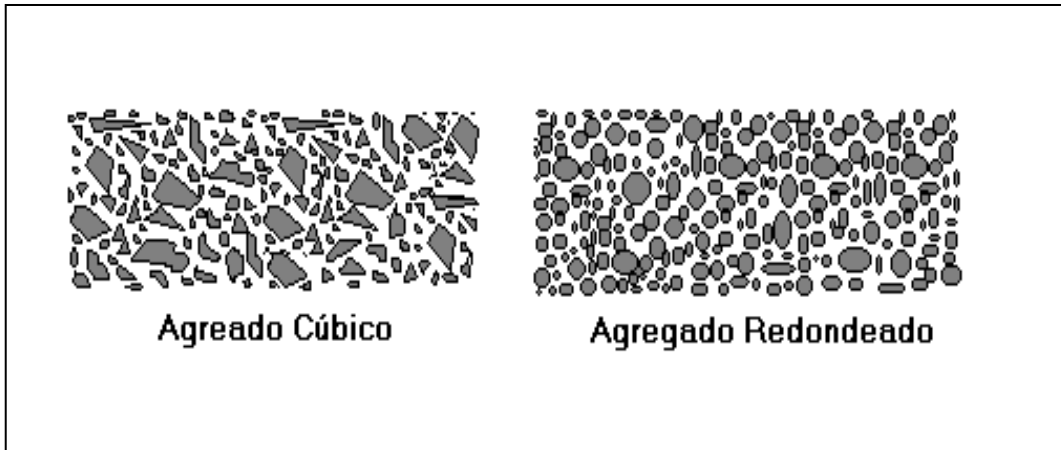


Figura 12 – Esqueleto del agregado pétreo.

Para asegurar un agregado más fuerte para el HMA, se deben especificar las propiedades de éstos. Normalmente, esto está acompañado de un cierto porcentaje de triturado de la vasta porción del combinado de los agregados. También la cantidad de arcilla natural es frecuentemente limitada, ya que ésta tiende a ser redonda y con poca fricción interna.

COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFALTICA.

Cuando se aplica una carga de rueda a un pavimento, se transmiten dos fuerzas primarias: una fuerza compresora vertical en la capa de asfalto y una tensión horizontal en el fondo de la capa de asfalto. El HMA debe ser fuerte internamente y elástico para resistir la fuerza compresora y prevenir la deformación permanente de la mezcla. De la misma manera, el material debe tener suficiente fuerza de tensión para contrarrestar los esfuerzos de tensión en la base de la capa de asfalto y también ser elástico para soportar la fuerza impartida por descenso rápido de temperaturas y temperaturas extremadamente frías.

Mientras las propiedades individuales de los componentes del HMA son importantes, el comportamiento de la mezcla asfáltica se explica mejor considerando la relación entre el cemento asfáltico y los agregados minerales. Una manera de comprender el comportamiento de la mezcla asfáltica es considerando las problemáticas primarias del pavimento asfáltico que los ingenieros tratan de evitar: deformación permanente, rompimiento por fatiga y rompimiento por bajas temperaturas.

Capitulo III

Marco Referencial

IV. Marco Referencial (Revisión de literatura).

IV.1. Normas.

NORMAS MEXICANAS DE LA SERIE "C" (NMX-C) MATERIALES DE CONSTRUCCION

NMX-C-052-1974

"DETERMINACION DE LA PENETRACION EN MATERIALES BITUMINOSOS MEDIANTE EL EMPLEO DE UNA AGUJA"

Objetivo:

Penetración en un material bituminoso.- Es la distancia en decimos de milímetro, que una aguja de dimensiones determinadas penetra verticalmente en una muestra de material, en condiciones dadas de temperatura, carga y tiempo.

Definición:

La muestra se funde y se enfría bajo condiciones controladas. Se aplica a la muestra una carga determinada por medio de un penetrómetro que indica la penetración en el material manifestando su consistencia.

NMX-C-196-1984

INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS - RESISTENCIA A LA DEGRADACION POR ABRASION E IMPACTO DE AGREGADOS GRUESO USANDO LA MAQUINA DE LOS ANGELES - METODO DE PRUEBA.

Objetivo:

Esta Norma Mexicana establece el método de prueba para la determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de los agregados gruesos de tamaños nominales pequeños y grandes, empleando la maquina de los Ángeles.

Definición:

La prueba con la máquina de Los Ángeles es una medida de la degradación de

agregados minerales, con una granulometría normalizada, resultante de la combinación de la acción de molienda por impacto y abrasión que se produce en un tambor de acero giratorio que contiene un número especificado de esferas de acero; este número depende de la granulometría de la muestra. A medida que el tambor gira, una aspa interior acumula la muestra y las esferas de acero, las eleva y deja caer, dando lugar a un efecto de molienda por impacto, en el resto del giro el material rueda creando el efecto de molienda por abrasión. Este proceso constituye un ciclo, que se repite cada revolución. Después del número prescrito de revoluciones, se saca el contenido y se criba para medir la degradación como pérdida porcentual.

DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Objetivo:

Determinar la dureza de los materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas, carpetas por riegos, riegos de sello, material de balasto, etc.

Definición:

Este ensaye es para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de las partículas, etc.

DETERMINACION DE LA DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS

Objetivo:

La ductilidad de los materiales bituminosos se mide por el alargamiento, en centímetros, hasta el momento de ruptura, que sufre un espécimen deforma especial, llamado briqueta, cuando se estiran sus extremos a velocidad y temperatura especificadas. Esta prueba se verifica a $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y a una velocidad de 5 cm por minuto ± 5.0 porciento, a menos que se especifique otra cosa.

PRUEBAS EN ASFALTOS.

Objetivo:

Determinar la cantidad de residuo por destilación, el contenido de agua y el contenido de disolventes que existen en las emulsiones asfálticas catiónicas.

Definición:

Esta prueba consiste esencialmente en efectuar la destilación de una muestra de emulsión asfáltica, hasta la temperatura máxima de 260 grados centígrados, para separar el agua de la emulsión, disolventes y residuo asfáltico.

PRUEBA MARSHALL

Objetivo:

Diseñar una mezcla asfáltica, obteniendo como resultado una granulometría idónea y el contenido óptimo de asfalto.

CONTENIDO ASFALTO EN UNA MEZCLA

Objetivo: Determinar el contenido de residuo o cemento asfáltico en las mezclas, expresándolo como porcentaje en peso respecto al del material pétreo seco.

Definición:

Para obtener el contenido de cemento asfáltico en la mezcla ya elaborada se emplea un aparato llamado Rótarex o extractor centrífugo, que proporciona un medio útil para comprobar el porcentaje de cemento asfáltico presente en la mezcla. Además permite el efectuar un análisis granulométrico del agregado al finalizar la prueba de extracción del cemento asfáltico.

PERMEABILIDAD EN CARPETAS ASFÁLTICAS

Objetivo:

Determinar si una carpeta asfáltica cumple con la impermeabilidad requerida por las normas, para que no haya infiltraciones de agua que dañen las capas inferiores.

Capitulo IV

Metodo de Investigación

IV.1 Diseño del experimento.

Tabla 10 – Diseño del experimento.

	G1	G2	
Cementante	asfalto	Asfalto	X
Agregado Fino	Arena	Plástico	Y
Agregado Grueso	Grava	Plástico	Z

$G_1 O_1$ --- O_2

$G_2 O_3$ X_1 O_4

O \Rightarrow Pruebas de:

X \Rightarrow Tratamiento

$X_1 = \%X; \%Y(v); \%Z(v)$ $G_2 \geq G_1$

El experimento G1 se someterá a la operación O1 sin ninguna alteración esto es la mezcla de agregado pétreo con asfalto, dando como resultado O2.

El experimento G2 se someterá con la operación O3 con un tratamiento X1 que es la sustitución del agregado pétreo por plástico dándonos O4.

Con esto debemos checar la hipótesis donde $G_2 \geq G_1$.

- **Variables independientes:**
 - Mezcla de agregados pétreos y asfalto.
 - Mezcla de plástico y asfalto.

- **Variables dependientes:**
 - Resistencia a la compresión.
 - Cubrimiento del material.
 - Porcentaje de vacíos.
 - Determinación del contenido asfáltico en mezclas.

Granulometría para mezclas asfálticas

Tabla 11 – Granulometría agregado pétreo - asfalto

Agregado Pétreo	
Material retenido	Peso
Malla 3/8"	540.00g
Malla No. 4	210.00g
Malla No. 8	210.00g
Malla No. 16	90.00g
Malla No. 30	90.00g
Malla No. 50	30.00g
Malla No.100	30.00g
Total	1200.00g

Tabla 12 – Granulometría agregado plástico - asfalto

Agregado Plástico	
Material retenido	Peso
Malla 3/8"	540.00g
Malla No. 4	210.00g
Malla No. 8	210.00g
Malla No. 16	90.00g
Malla No. 30	90.00g
Malla No. 50	30.00g
Malla No.100	30.00g
Total	1200.00g

IV.2 Diseño de la mezcla asfáltica

Para elaborar una mezcla asfáltica primeramente se tiene que determinar el contenido de cemento asfáltico (C.A.), y este es determinado por dos métodos:

1. El Contenido Mínimo de Cemento Asfáltico.
2. El Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico.

DETERMINACION DEL CONTENIDO MINIMO DE CEMENTO ASFALTICO POR EL PROCEDIMIENTO DEL AREA SUPERFICIAL

Este procedimiento es aplicable a materiales graduados que contienen cierta cantidad de finos. Primeramente, conociendo la composición granulométrica del material pétreo, se calcula el Contenido de Cemento asfáltico empleando el método que a continuación se indica. Este método está basado en la estimación de la superficie de los agregados pétreos por cada kilogramo de material. Para hacer dicha estimación, se hace uso de las siguientes constantes de área en metros cuadrados por kilo de material pétreo.

Tabla 13 – Estimación del recubrimiento por kilogramo de material.

Material pasa malla 1-1/2" y se retiene en 3/4"	0.27 m ² /kg mat.
Material pasa malla 3/4" y se retiene en #4	0.41 m ² /kg mat.
Material pase malla #4 y se retiene en #40	2.05 m ² /kg mat.
Material pasa malla #40 y se retiene en #200	15.38 m ² /kg mat.
Material pasa malla #200	53.30 m ² /kg mat.

Cada una de estas constantes se multiplica por los porcentajes de partículas entre las mallas correspondientes, dando por resultado que se obtengan determinadas superficies por kilogramo de material. Se suman todas las superficies calculadas y el resultado se multiplica por el índice Asfáltico, que

varía de 0.0055 a 0.01385, de acuerdo con la rugosidad y la porosidad de los agregados. Con el siguiente ejemplo podrá verse claramente la aplicación de las constantes de área y del índice Asfáltico. Para el objeto deseado se considerará un índice Asfáltico de 0.008.

Supóngase que los agregados pétreos tienen la siguiente composición granulométrica.

Tabla 14 – Porcentaje del recubrimiento por kilogramo de material.

Mat. pasa la malla de 3/4"	y se retiene en malla #4	35% =0.35
Mat. pasa la malla #4	y se retiene en malla #40	45% =0.45
Mat. pasa la malla #40	y se retiene en malla #200	15% =0.15
Mat. pasa la malla # 200		5% =0.05
		100% =1.00

Multiplicando estos porcentajes por las constantes de Área se tiene:

$$\begin{array}{rclcl}
 0.35 & \times & 0.41 & = & 0.144 & \text{m}^2/\text{kg} & \text{de material pétreo.} \\
 0.45 & \times & 2.05 & = & 0.925 & \text{m}^2/\text{kg} & \text{de material pétreo.} \\
 0.15 & \times & 15.38 & = & 2.310 & \text{m}^2/\text{kg} & \text{de material pétreo.} \\
 0.05 & \times & 53.30 & = & 2.680 & \text{m}^2/\text{kg} & \text{de material pétreo.} \\
 & & \text{SUMA} & = & 6.059 & \text{m}^2/\text{kg} & \text{de material pétreo.}
 \end{array}$$

Contenido de cemento asfáltico = $6.059 \times 0.008 = 0.0485$ kilogramos de cemento asfáltico por cada kilogramo de material pétreo, o sea 4.85 kg. de C.A. por cada 100 kg. de material pétreo, o lo que es lo mismo, 4.85% de Cemento Asfáltico en peso.

El porcentaje de C.A. obtenido debe convertirse a porcentaje de *Producto Asfáltico*, ya sea un rebajado o una emulsión asfáltica, que se vaya a emplear, tomando en cuenta el contenido de residuo asfáltico del mismo. A continuación se anotan los índices Asfálticos más comunes:

Tabla 15 – Índices asfálticos más comunes

Material pétreo	Índice asfáltico
Gravas y arenas o materiales redondeados de baja absorción.	0.005
Gravas angulosas o redondas, trituradas de baja absorción.	0.006
Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción y rocas trituradas de mediana absorción.	0.007
Rocas trituradas de alta absorción.	0.008

Se considera una absorción como baja a la que es menos de 2%, absorción mediana a la comprendida entre 2% y 4%, absorción alta a la mayor de 4%. El porcentaje de cemento asfáltico calculado debe emplearse únicamente como guía para la determinación práctica por medio de la prueba de compresión axial no confinada que mas adelante se indica.

Lo dicho con anterioridad puede presentarse en la fórmula siguiente:

$$p = (0.41 nG + 2.05 ng + 15.38 nA + 53.30 nF)$$
 en la que:

p = porcentaje mínimo de cemento asfáltico.

n = índice asfáltico según la absorción del material.

G = porcentaje de material entre la malla $1/4$ " y la No. 4

g = porcentaje de material entre la malla No. 4 y la No. 40

A = porcentaje de material entre la malla No. 40 y la No. 200

F = porcentaje de material que pasa a la No. 200

DETERMINACION DEL CONTENIDO MINIMO DE CEMENTO ASFALTICO BASADO EN LA DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE LAS PARTICULAS⁶

En esta determinación se hace uso de la formula siguiente:

$$p = 0.020 a + 0.045 b + c d$$

en la cual:

p = porcentaje de C.A. expresado con respecto al peso del material.

a = porcentaje de material retenido en la malla # 10.

b = porcentaje de Material que pasa la malla #10 y se retiene en la #200.

c = porcentaje que pasa la malla # 200.

d = coeficiente asfáltico que varía con las características del material de acuerdo con los datos de la tabla que sigue:

Tabla 16 – Coeficiente asfaltico según el material.

Material	d
Gravas y arenas de río o materiales redondeados de baja absorción	0.15
Gravas trituradas de baja absorción	0.20
Rocas trituradas de absorción media.	0.30
Rocas trituradas de alta absorción.	0.35

Para expresar el cemento asfáltico sobre la base de producto asfáltico se procede de la misma manera explicada en el inciso anterior.

Una vez que se vio como calcular el contenido mínimo de asfalto para mezclas asfálticas se calculo al porcentaje de C.A. que utilizamos para nuestras pruebas.

⁶ Carlos Crespo Villalaz (1993). Vías de comunicación. Editorial Limusa. Segunda edición.

Si tenemos la siguiente granulometría, y tomamos en cuenta que Contenido de cemento asfáltico = $6.059 \times 0.008 = 0.0485$ kilogramos de cemento asfáltico por cada kilogramo de material pétreo, o sea 4.85 kg. de C.A. por cada 100 kg. de material pétreo, o lo que es lo mismo, 4.85% de Cemento Asfáltico en peso.

Nosotros si tenemos un peso de 1.2 kg. Entonces la cantidad de cemento asfáltico será:

100kg. de agregado pétreo ----- 4.85kg. C.A.

1.2kg. material ----- 0.0582kg. C.A.

Por lo tanto para cada una de las muestras usaremos 58.2g. de cemento asfáltico, al cual se le agregara el uno por ciento (1%), esto nos da un total de **58.78g. C.A.**

Tabla 17 – Granulometría del espécimen

Material retenido	Peso
Malla 3/8"	540.00g
Malla No. 4	210.00g
Malla No. 8	210.00g
Malla No. 16	90.00g
Malla No. 30	90.00g
Malla No. 50	30.00g
Malla No.100	30.00g
Total	1200.00g



Foto 1, cantidad de cemento asfáltico

El diseño de la mezcla asfáltica se realizara por el método Marshall

DETERMINACION DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO POR EL MÉTOD0 DE MARSHALL

Este método está limitado al proyecto y control de mezclas asfálticas elaboradas en planta estacionaria, en caliente, empleando cemento asfáltico. Con la prueba de Marshall se determinan los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a sesenta grados centígrados (60° C). El valor de estabilidad se determina midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal a su eje. La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga será el valor del flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectado principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado. Principalmente el valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor de flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir la fractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos. El equipo necesario para la elaboración y prueba de los especímenes es el que sigue:

Un molde de compactación provisto de un collarín y de una placa de base, un sostén del molde de compactación para sujetar firmemente el molde, un pisón de compactación con superficie circular de apisonado de nueve punto ochenta y cuatro centímetros (9.84 cm = 1.7/8") de diámetro, equipado con una pesa deslizante de cuatro punto quinientos treinta y seis kilogramos (4.536 kg = 10.1bs.) cuya altura de caída es de cuarenta y cinco punto siete centímetros (45.7 cm = 18"). Una máquina de compresión Marshall accionada

con motor eléctrico que permite aplicar cargas por medio de una cabeza de prueba con forma de anillo seccionado a una velocidad de cinco punto cero ocho centímetros sobre minuto (5.08 centímetros/min). Está equipada con un anillo calibrado para determinar el valor de las cargas y un extensómetro para medir las deformaciones del anillo. Un medidor de flujo, un tanque de saturación con dispositivo eléctrico para mantener constante la temperatura del agua, hornilla gas para calentar los agregados, un termómetro blindado para registrar temperaturas entre diez y doscientos grados centígrados (10-200°C), una balanza con capacidad de 20 kilogramos y sensibilidad de un gramo, una cuchara de albañil, un baño de agua para calentar el pisón de compactación y el molde, una espátula y charolas. Véase las fotografías



Foto 2, compactador Marshall



Foto 3, Prensa Marshall

ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES

Con relación a la elaboración de los especímenes se consideran los siguientes conceptos:

a) Fijada la granulometría de la mezcla asfáltica, se determinará el porcentaje en peso de los siguientes tamaños en que ha sido separado previamente el material pétreo:

Material retenido en la malla de 3/8"

Material que pasa la malla de 3/8" y se retiene en la de No.4

Material que pasa la malla de No. 4 y se retiene en la #8

Material que pasa la malla # 8 y se retiene en la # 16

Material que pasa la malla # 16 y se retiene # 30

Material que pasa la malla # 30 y se retiene # 50

Material que pasa la malla # 50 y se retiene en la # 100

Tabla 17 – Granulometría del espécimen

Material retenido	Peso
Malla 3/8"	540.00g
Malla No. 4	210.00g
Malla No. 8	210.00g
Malla No. 16	90.00g
Malla No. 30	90.00g
Malla No. 50	30.00g
Malla No.100	30.00g
Total	1200.00g

Para cada contenido de cemento asfáltico se fabricarán tres especímenes cada uno de los cuales requieren mil doscientos gramos (1200 gramos) de agregado pétreo. Se toma de cada uno de los tamaños mencionados la cantidad de muestra que resulta de multiplicar el porcentaje en peso de cada fracción por el peso total de la muestra. Las fracciones ya pesadas se mezclarán previamente a la adición del cemento

asfáltico. La cantidad de cemento asfáltico que deberá agregarse a cada

muestra se calculará sobre la base de contenido mínimo de cemento asfáltico que se determina como ya ha indicado con anterioridad. Las cantidades de cemento asfáltico deberán corresponder a los siguientes porcentajes de cemento asfáltico.

Contenido calculado - 1%

Contenido calculado neto

Contenido calculado + 0.5%

Contenido calculado + 1.0%

Contenido calculado + 1.5%

Contenido calculado + 2.0%

Si tenemos un peso de 1.2 kg. Entonces la cantidad de cemento asfáltico será:

100kg. de agregado pétreo ----- 4.85kg. C.A.

1.2kg. material ----- 0.0582kg. C.A.

Por lo tanto usaremos para cada una de las muestras usaremos 58.2g. de cemento asfáltico, al cual se le agregara el uno por ciento (1%), esto nos da un total de **58.78g. C.A.**

Tablas de granulometría y contenido C.A. para cada una de las pruebas.

Se tienen 2 combinaciones agregado pétreo con cemento asfáltico y plástico con cemento asfáltico.

Tabla18 – Granulometría de agregado pétreo y contenido C.A.

Mezcla Asfáltica Con agregado pétreo			
AP-CA000			
Material retenido	Peso		C.A.
Malla 3/8"	540.00g	Grueso	58.78g.
Malla No. 4	210.00g	Fino	
Malla No. 8	210.00g	Fino	
Malla No. 16	90.00g	Fino	
Malla No. 30	90.00g	Fino	
Malla No. 50	30.00g	Fino	
Malla No.100	30.00g	Fino	
Total	1200.00g		

Tabla19 – De granulometría agregado plástico y contenido C.A.

Mezcla Asfáltica Con agregado plástico			
P-CA000			
Material retenido	Peso		C.A.
Malla 3/8"	540.00g	Grueso	58.78g.
Malla No. 4	210.00g	Fino	
Malla No. 8	210.00g	Fino	
Malla No. 16	90.00g	Fino	
Malla No. 30	90.00g	Fino	
Malla No. 50	30.00g	Fino	
Malla No.100	30.00g	Fino	
Total	1200.00g		

Debido a la diferencia de pesos se tuvo que hacer un ajuste en estas proporciones, ya que el peso del agregado pétreo con respecto al plástico es aproximadamente el doble del peso y eso nos llevaba a que el C.A. asfáltico no iba a cubrir todo el agregado.

Es por eso que en lugar de usar pesos se procedió a hacer una equivalencia a volumen, esto se llevo a cabo tomando el peso de cada uno de los tamaños de G1 y se coloco en un vaso precipitado por separado y se tomo la lectura que marcaba en el vaso y con eso se llego a las siguientes proporciones.



Foto 4, peso del agregado pétreo



Foto 5, peso del agregado plástico



Foto 6, volumen del agregado pétreo



Foto 7, volumen del agregado plástico



Foto 8, volumen del agregado pétreo



Foto 9, volumen del agregado plástico

Tabla 20 – Proporción de volumen de agregado pétreo – C.A.

Mezcla Asfáltica Con agregado pétreo					
AP-CA000					
Material retenido	Peso	Volumen			C.A.
Malla 3/8"	540.00g	400ml.	Grueso		58.78g.
Malla No. 4	210.00g	150ml.	Fino		
Malla No. 8	210.00g	125ml.	Fino		
Malla No. 16	90.00g	60ml.	Fino		
Malla No. 30	90.00g	60ml.	Fino		
Malla No. 50	30.00g	20ml.	Fino		
Malla No.100	30.00g	20ml.	Fino		
Total	1200.00g	835.00ml			

Tabla 21 – Proporción de volumen de agregado plástico – C.A.

Mezcla Asfáltica Con agregado plástico					
P-CA000					
Material retenido	Peso	Volumen			C.A.
Malla 3/8"	540.00g	400ml.	Grueso		58.78g.
Malla No. 4	210.00g	150ml.	Fino		
Malla No. 8	210.00g	125ml.	Fino		
Malla No. 16	90.00g	60ml.	Fino		
Malla No. 30	90.00g	60ml.	Fino		
Malla No. 50	30.00g	20ml.	Fino		
Malla No.100	30.00g	20ml.	Fino		
Total	1200.00g	835.00ml			



Foto 10, volumen del agregado pétreo



Foto 11, volumen del agregado vidrio



Foto 12, volumen del agregado plástico



Foto 13, 14 y 15 agregados tomados con volúmenes

Se mezclarán los agregados y el cemento asfáltico, calentados previamente a las temperaturas de ciento setenta y cinco grados centígrados y ciento veinte grados centígrados, respectivamente, hasta obtener una distribución uniforme del cemento asfáltico. La temperatura de la mezcla no debe ser menor de 100°C al momento de elaborar el espécimen. En ningún caso la mezcla deberá ser recalentada.

b) Para compactar los especímenes de mezcla asfáltica se procederá así: El pisón de compactación y el molde se calentaran en un baño de agua hirviendo. Una vez caliente se sacará el equipo del baño y se colocará un papel filtro en el

fondo del molde y se llenará éste con la mezcla caliente. Se apoyará el pisón sobre la mezcla y se aplicarán cincuenta (50) golpes con la pesa deslizante. La cara del pisón será mantenida paralela a la base del molde durante el proceso de compactación. Se quitará el collarín y se invertirá a posición del molde; se colocará el collarín y se aplicarán otros cincuenta (50) golpes en el espécimen. El proceso de compactación anteriormente descrito se aplicará al estudio de mezclas proyectadas para recibir presiones de contacto que no excedan de siete kilogramos por centímetro cuadrado ($7 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ lbs/pulg}^2$). El número de golpes en cada cara del espécimen deberá aumentarse a setenta y cinco (75) cuando las mezclas se proyecten para recibir presiones de contacto comprendidas entre siete y catorce kilogramos por centímetro cuadrado ($7 \text{ a } 14 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ a } 200 \text{ lbs/pulg}^2$), Se removerá el collarín y la placa de base, y el molde con su contenido se sumergirá en agua fría por un tiempo mínimo de dos (2) minutos. Se extraerá el espécimen del molde, se identificará y se dejará enfriar a la temperatura ambiente durante 12 a 24 horas. Los especímenes compactados deberán tener una altura de seis punto treinta y cinco centímetros ($6.35 \text{ cm} = 2\text{-}1/2\text{"}$), con una tolerancia de tres punto dos milímetros ($3.2 \text{ mm} = 1/8\text{"}$), y en caso contrario deberá repetirse el proceso.

PRUEBA A COMPRESION DE LOS ESPECIMENES

La prueba de los especímenes comprende la determinación del peso volumétrico y la determinación de la estabilidad y flujo de los mismos. La determinación del peso volumétrico del espécimen ya compactado se hizo dividiendo el peso entre el volumen. Los valores de estabilidad y flujo se determinaron ensayando los especímenes en el aparato Marshall, siguiendo el procedimiento siguiente:

Se sumerge el espécimen en el tanque con agua a la temperatura de sesenta grados centígrados (60°C) con medio grado de tolerancia y se

mantendrá ahí veinte a treinta minutos. Mientras los especímenes se encuentran en el tanque de agua, se limpia la superficie del anillo seccionado y se lubricarán los postes guía del tal manera que la sección superior del anillo seccionado se le deslice libremente, se ajustará a cero el extensómetro del anillo de carga. Terminando el período de inmersión en agua caliente se sacará el espécimen del agua y se secura su superficie. Se colocará el espécimen entre las dos secciones de la cabeza de prueba y se centrará el conjunto en la máquina de compresión. Se colocará el medidor de flujo en el poste guía y se ajustará a cero su carátula. Se aplicare la carga al espécimen a una velocidad constante de cinco centímetros sobre minuto hasta que la falla del espécimen ocurra. La carga máxima aplicada para producir la falla del espécimen a la temperatura de sesenta grados centígrados (60°C) se debe registrar como el valor de la estabilidad Marshall. Mientras la prueba se lleve a cabo se debe sostener firmemente el medidor de flujo sobre el poste guía y se removerá tan pronto se haya aplicado la carga máxima, anotándose la deformación sufrida por el espécimen. Esta lectura en *milímetros* expresa el valor del flujo. Se promediarán los valores de estabilidad y de flujo de los tres especímenes con el mismo contenido de cemento asfáltico, debiendo desecharse para el cálculo el valor que discrepe notablemente.

La prueba anteriormente descrita debe completarse dentro de un período de treinta segundos contados a partir del momento en que los especímenes sean sacados del tanque de agua caliente.

La determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico se hará de acuerdo con el criterio siguiente:

a) Se calculará el promedio del peso volumétrico de los especímenes de prueba elaborados con un mismo porcentaje de cemento asfáltico.

b) Por el procedimiento que en el próximo capítulo se indica, se determinan la densidad teórica máxima y el porcentaje de vacíos para cada contenido de cemento asfáltico.

c) Se calcula la relación entre volumen ocupado por el C.A. y el volumen total de huecos que existiría si el material pétreo del espécimen no contuviera C.A. Para esto último se utilizara la siguiente fórmula:

$$Y_o = \frac{D_r \cdot P_a}{100 D_s + D_a - (100 - P_a) \cdot D_a} \quad \begin{matrix} \text{Volumen de C.A} \\ \text{Volumen total de huecos} \end{matrix}$$

en la que:

D_r = Densidad relativa aparente del material pétreo.

Peso volumétrico del espécimen en gr/cm³.

D_a = Densidad relativa del C.A. (1.3 aprox.)

P_a = Porcentaje de C.A. con relación al peso de la mezcla.

d) Se corregirán los valores de estabilidad de los especímenes que no tengan la altura especificada de 63.5 cm multiplicando los valores obtenidos por los valores de corrección que siguen:

Tabla 22 – Factor de corrección.

ALTURA DEL ESPÉCIMEN	FACTOR DE CORRECCIÓN	ALTURA DEL ESPÉCIMEN	FACTOR DE CORRECCIÓN
55	1.27	63.5	1.00
56	1.23	64.0	0.98
57	1.20	65.0	0.96
58	1.16	66.0	0.94
59	1.13	67.0	0.92
60	1.10	68.0	0.90
61	1.07	69.0	0.88
62	1.04	70.0	0.86
63	1.01	71.0	0.84

e) Se dibujaran las graficas siguientes:

- Peso volumétrico Vs. contenido de cemento asfáltico.
- Estabilidad Vs. contenido de cemento asfáltico.
- Flujo Vs. contenido de cemento asfáltico.
- Porcentaje de vacíos Vs. contenido de cemento asfáltico.
- Huecos ocupados por asfalto (V_o) Vs. contenido de cemento asfáltico. Graficas

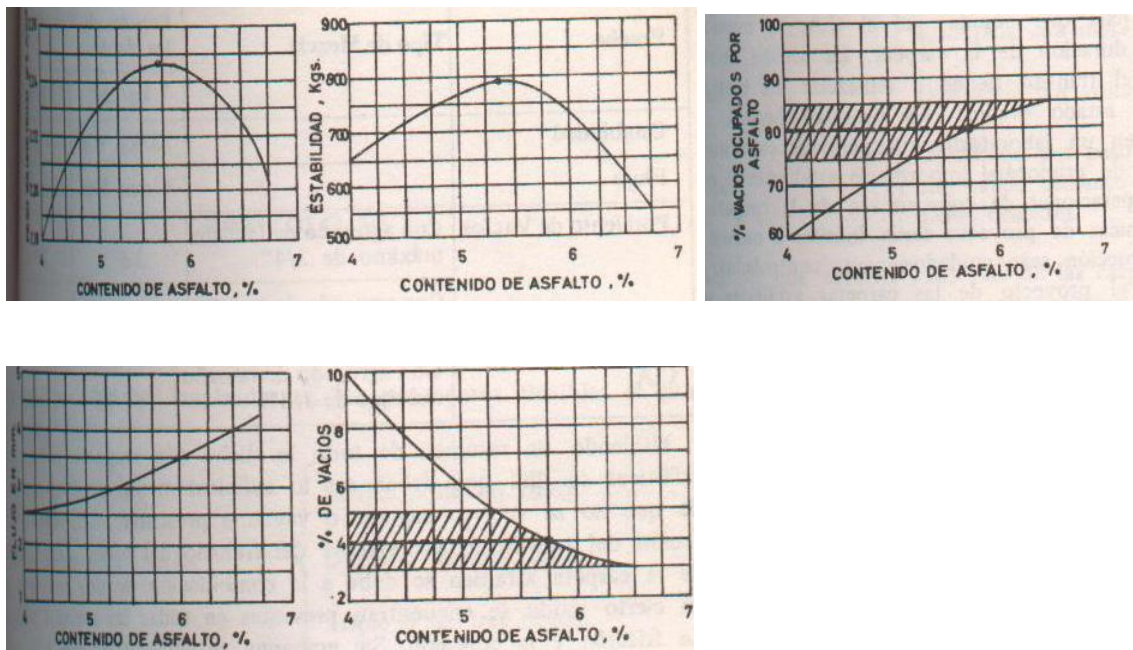


Figura 12 - Peso volumétrico Vs. contenido de cemento asfáltico, estabilidad Vs. contenido de cemento asfáltico, flujo Vs. contenido de cemento asfáltico, porcentaje de vacíos Vs. contenido de cemento asfáltico.

f) De los datos obtenidos de las gráficas indicadas, se calculará el contenido óptimo C.A., promediando los siguientes valores:

El contenido de C.A. correspondiente al mayor peso volumétrico.

El contenido de C.A. correspondiente a la máxima estabilidad.

El contenido de C.A. correspondiente al valor medio del porcentaje de vacíos señalados en la tabla que sigue:

El contenido de C.A. correspondiente al valor promedio del porcentaje de huecos ocupados por el C.A. señalado en la tabla que se indica a continuación.

Tabla 23 – Especificaciones para las mezclas con cemento asfáltico.

ESPECIFICACIONES PARA MEZCLAS CON CEMENTO ASFÁLTICO PROCEDIMIENTO MARSHALL,				
Características	Uso de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico	Para carreteras Tránsito diario en ambos sentidos		Para aero pistas
		Hasta 2000 vehículos pesados (A)	Más de 2000 vehículos pesados (A)	
Números de golpes		50	75	75
Estabilidad mínima, kilogramos	Para carpetas, capas de nivelación.	150	700	700
Flujo en milímetros	Bases asfálticas y bacheo	2-4.5	2-4	2-4
Por ciento en la mezcla respecto al volumen del espécimen	Para carpetas y mezclas de nivelación	3-5	3-5	3-5
Por ciento de vacíos en el agregado (VAM), respecto al volumen del espécimen de mezcla, de acuerdo con el tamaño máximo del material pétreo mínimo (B)	Para bases asfálticas Para carpetas, capas de nivelación, bases asfálticas y bacheo.	3-8	3-8	3-8
	4.76mm. No.4	18	18	18
	6.35mm. (1/4")	17	17	17
	9.51mm. (3/8")	16	16	16
	12.7mm. (1/2")	15	15	15
	19.0mm. (3/4")	14	14	14
	25.4mm. (1")	13	13	13

(A) se consideran vehículos pesados los camiones en todos los tipos y autobuses.

Haciendo un resumen de todo lo dicho con respecto a las mezclas asfálticas se dirá que deben ser lo suficientemente estables con el fin de que no se vuelvan rugosas o vayan a presentar ondulaciones por la acción del tránsito o los efectos del frenado del mismo. La estabilidad de la carpeta asfáltica se debe a la combinación de dos cualidades que en cierto modo se

encuentran presentes en todas las mezclas asfálticas: La fricción y la cohesión. Sin embargo, se encuentran más relacionadas a la fricción que a la cohesión, aunque esta última juega un papel importante en ciertos casos. Cierta cantidad de cohesión es necesaria a fin de que el pavimento trabaje satisfactoriamente. Es bien conocido que toda carpeta asfáltica necesita cierta cantidad de tránsito o acción de amasado para que impida que el C.A. se muera y por lo tanto prolongar la duración de la carpeta. La acción continua de amasado causado por el tránsito tiende a remezclar los materiales y a conservarlos en su estado original. La cantidad óptima de C.A. debe ser determinada en un laboratorio por personas capacitadas, y ante todo, es obligación de primordial importancia establecer y mantener uniformidad en las operaciones de construcción de la carpeta asfáltica, ya que todas las técnicas de proyecto serán inútiles a menos que las operaciones de construcción sean cuidadosamente controladas. Algo muy importante es en el proyecto de las carpetas asfálticas, el recomendar el cemento asfáltico adecuado según el clima de la región y los materiales a emplear. El grado de penetración del cemento asfáltico juega importante papel en el proyecto.

Instalaciones del laboratorio de ingeniería civil.



Foto 16 y 17, Laboratorio Civil del Instituto Tecnológico de Nogales.

Se recolectaron los siguientes materiales para la elaboración de las muestras que serán analizadas en el laboratorio. Logrando almacenarlos en el laboratorio de Ingeniera Civil del Instituto Tecnológico de Nogales (ITN), en el edificio K.

Los materiales son los siguientes:

Arena 200 lts.

Grava 200 lts.

Asfalto AC- 20 100 lts.

1 saco de plástico PVC triturado en distintas medidas

1 saco de plástico ABS triturado en distintas medidas

1 saco de plástico de varios tipos en varias medidas

1 caja con terminales de plástico con fibra de vidrio



Foto 18. Plásticos Triturados



Foto 19. Arena y Grava

El equipo utilizado del laboratorio es el siguiente:

- 1 Horno eléctrico
- 1 Estufa de gas
- 1 Juego de cribas para gravas y arenas
- 1 Maquina cribadora eléctrica
- 1 Balanza
- 1 Juego de cilindros de prueba
- 1 Regla Metálica
- 1 Juego de matraces
- 1 Juego de cucharas
- 1 copla Cleveland



Foto 20. Juego de Matraces



Foto 21. baño de agua



Foto 22. Balanza Eléctrica



Foto 23. Estufa de Gas



Foto 24. Horno Eléctrico



Foto 25. Cribadora manuales



Foto 26. Balanzas



Foto 27. Cribadoras Eléctricas



Foto 28. Prueba Marshall

Capítulo V

Experimentación

V.I. Prueba de penetración

La prueba se realizó de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-C-052-1974 (Determinación de la penetración en materiales bituminosos mediante el empleo de una aguja). Donde el penetrómetro, la aguja y todos los elementos que se involucran en esta prueba cumplen con lo establecido en la norma.



Foto 29. Penetrómetro

V.II. Prueba de desgaste de los ángeles

El desgaste de los agregados pétreos fue determinada por la Norma Mexicana NMX-C-196-1984, que establece el método de prueba para la determinación de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto de los agregados gruesos de tamaños nominales pequeños y grandes, empleando la máquina de los Ángeles.



Foto 30, maquina de los ángeles.

La prueba con la máquina de Los Ángeles es una medida de la degradación de agregados minerales, con una granulometría normalizada, resultante de la combinación de la acción de molienda por impacto y abrasión que se produce en un tambor de acero giratorio que contiene un número especificado de esferas de acero; este número depende de la granulometría de la muestra. A medida que el tambor gira, una aspa interior acumula la muestra y las esferas de acero, las eleva y deja caer, dando lugar a un efecto de molienda por impacto, en el resto del giro el material rueda creando el efecto de molienda por abrasión. Este proceso constituye un ciclo, que se repite cada revolución. Después del número prescrito de revoluciones, se saca el contenido y se criba para medir la degradación como pérdida porcentual.

V.III. Determinación de la ductilidad de los materiales bituminosos.

NMX-C-135-1975

Esta Norma establece el método de prueba para la determinación de la ductilidad de los materiales bituminosos.

La ductilidad de los materiales bituminosos se mide por el alargamiento, en centímetros, hasta el momento de ruptura, que sufre un espécimen de forma especial, llamado briqueta, cuando se estiran sus extremos a velocidad y temperatura especificadas. Esta prueba se verifica a $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y a una velocidad de 5 cm por minuto ± 5.0 por ciento, a menos que se especifique otra cosa.



Foto 31 y 32 ductímetro.

V.IV. Prueba Marshall

Este método está limitado al proyecto y control de mezclas asfálticas elaboradas en planta estacionaria, en caliente, empleando cemento asfáltico. Con la prueba de Marshall se determinan los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a sesenta grados centígrados (60° C). El valor de estabilidad se determina midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal a su eje. La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga será el valor del flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectado principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado. Principalmente el valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor de flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir la fractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

Experimentos:

G1 AP – CA001 Agregado Pétreo – Cemento Asfáltico.

Tabla 24 – Volumen de agregado pétreo – C.A.

Mezcla Asfáltica Con agregado pétreo					
AP-CA000					
Material retenido		Volumen			C.A.
Malla 3/8"		400ml.	Grueso		58.78g.
Malla No. 4		150ml.	Fino		
Malla No. 8		125ml.	Fino		
Malla No. 16		60ml.	Fino		
Malla No. 30		60ml.	Fino		
Malla No. 50		20ml.	Fino		
Malla No.100		20ml.	Fino		
Total		835.00ml			

- Para la elaboración de los especímenes se tomo de la tabla 24 los volúmenes de agregado pétreo y la cantidad de cemento asfaltico como se muestra en la fotografía 33 y 34.

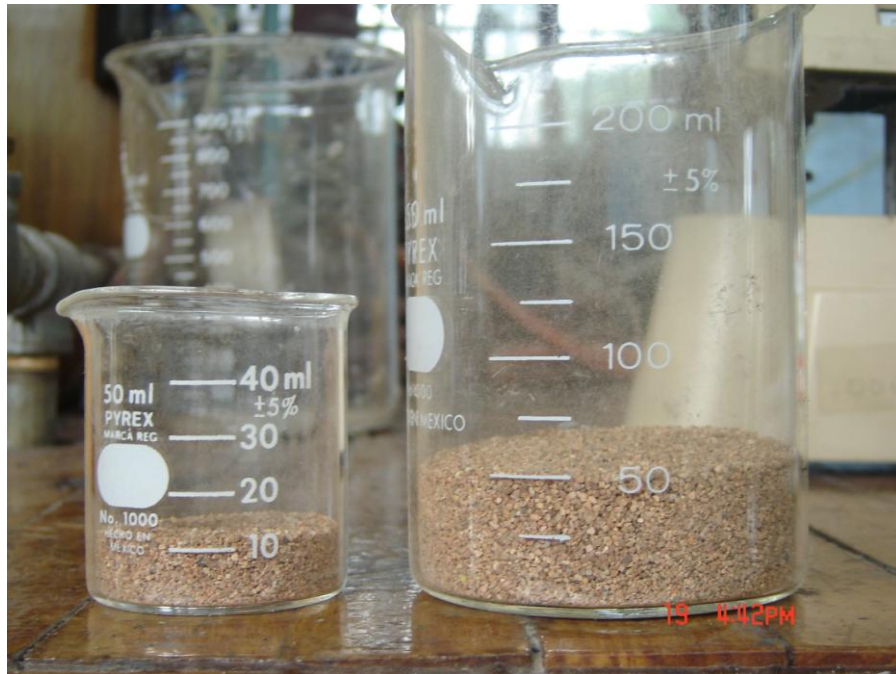


Foto 33 – Volumen de agregado pétreo.



Foto 34 – Cantidad de cemento asfáltico.

- Se calentó el asfalto y el agregado a una temperatura de 125°C y 165°C respectivamente, una vez que se tienen esas temperaturas se procede a hacer la mezcla (foto 35).



Foto 35 – Mezcla uniforme.

- A la par se calentó el molde y el pistón para que no pierda temperatura la mezcla.
- Con la mezcla uniforme la colocamos en el molde y se procedió a darle 50 golpes con el pistón por un lado y 50 por el otro (Foto 36).
- Ya que lo compactamos se colocó en agua fría por 2 minutos y se retiró el molde (Foto 37).
- Lo dejamos por 24 horas reposar.



Foto 36 – Compactación del espécimen.



Foto 37 – Retiro del molde.

- A las 24 horas lo sumergimos en baño maría a 60°C por 30 minutos (foto 38).
- Se procedió a colocar el espécimen en los anillos para colocarlo en la maquina Marshall (foto 39).
- Se tomaron las lecturas máximas (foto 40) y se anotaron en una tabla.



Foto 38 – Especimen en baño maría.



Foto 39 – Cilindro comprimido por la prueba Marshall.



Foto 40 – Lectura máxima



Foto 41, vaciado de mezcla



Foto 42, compactación

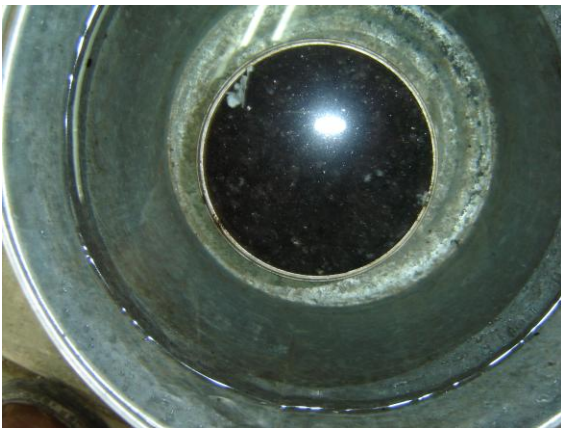


Foto 43, enfriado



Foto 44, espécimen



Foto 45 y 46, espécimen en soporte

Prueba de agregado plástico – cemento asfáltico

G3 P-CA001A

Cemento Asfáltico – Plástico.

Esta prueba se realizó únicamente para ver como se comporta el plástico cuando se calentara y cuanto temperatura se le podía subir, las cantidades que se utilizaron fueron las siguientes.

Mezcla Asfáltica Con agregado plástico P-CA000			
Material retenido	Peso		C.A.
Malla 3/8"	540.00g	Grueso	58.78g.
Malla No. 4	210.00g	Fino	
Malla No. 8	210.00g	Fino	
Malla No. 16	90.00g	Fino	
Malla No. 30	90.00g	Fino	
Malla No. 50	30.00g	Fino	
Malla No.100	30.00g	Fino	
Total	1200.00g		

Mezcla Asfáltica Con agregado plástico P-CA001A			
Material retenido	Peso		C.A.
Malla 3/8"	0.00g	Grueso	58.78g.
Malla No. 4	250.00g	Fino	
Malla No. 8	250.00g	Fino	
Malla No. 16	100.00g	Fino	
Malla No. 30	0.00g	Fino	
Malla No. 50	0.00g	Fino	
Malla No.100	0.00g	Fino	
Total	600.00g		



Foto 47, 600g de plástico



Foto 48, listo para calentarse

Agregado de 3/8" no se utilizó en esta prueba debido a que se contaba con muy poco agregado de esa medida así como de los finos.

Las temperaturas a las que se pudo calentar el plástico fueron de 70 °C antes que los finos se derritieran.

Para estas pruebas se utilizo el mismo procedimiento Marshall.



Foto 49 – Mezcla de agregado plástico – cemento asfáltico.



Foto 50 – Espécimen de prueba agregado plástico – cemento asfáltico.

Cuando se puso el espécimen en el baño maría, nos dimos cuenta que flotaba debido a su bajo peso Volumétrico (foto 51, 52).

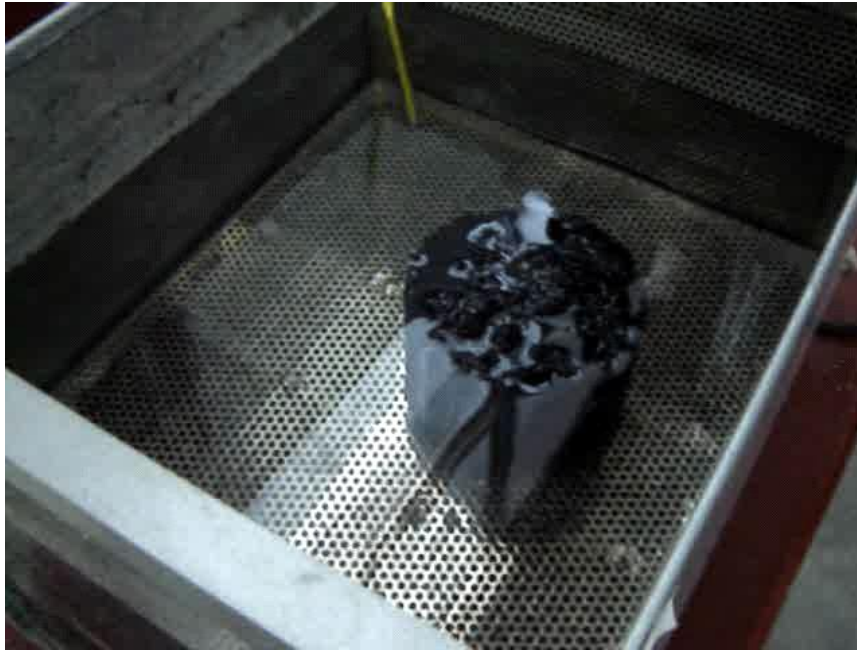


Foto 51- Especimen de plástico flotando.

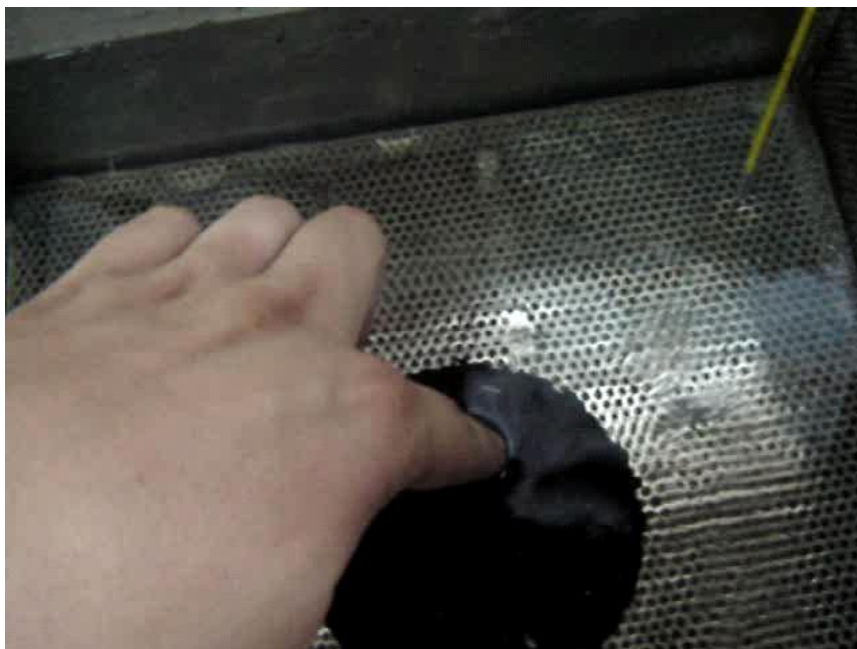


Foto 52 – Especimen sumergido.

G2 P – CA001 Agregado Plástico – Cemento Asfáltico.

Tabla 25 – Volumen de agregado plástico – C.A.

Mezcla Asfáltica Con agregado plástico				
P-CA000				
Material retenido		Volumen		C.A.
Malla 3/8"		400ml.	Grueso	58.78g.
Malla No. 4		150ml.	Fino	
Malla No. 8		125ml.	Fino	
Malla No. 16		60ml.	Fino	
Malla No. 30		60ml.	Fino	
Malla No. 50		20ml.	Fino	
Malla No.100		20ml.	Fino	
Total		835.00ml		

Para la elaboración de las mezclas de agregado plástico – cemento asfáltico se tomaron los volúmenes de la tabla 25 y la cantidad de cemento asfáltico como se muestra en la (foto 52 y 53)



Foto 52 – Volumen de agregado plástico.



Foto 53 – Agregado plástico.

Se mezcló el plástico y el cemento asfáltico hasta que se obtuvo una mezcla uniforme. Después se elaboró el espécimen siguiendo el procedimiento de la prueba Marshall como se muestra en la (foto 54)



Foto 54 – espécimen plástico – cemento asfáltico.

A las 24 horas de elaborado el espécimen se sumergió en el baño maría durante 30 minutos, después se colocó en la máquina Marshall para la prueba de compresión (foto 55 y 56).



Foto 55 – espécimen de plástico flotando en el baño maría.



Foto 56 – espécimen de plástico en la prueba Marshall.

Para todos los especímenes su utilización el mismo procedimiento nomás en las pruebas de agregado plástico no se calentó a 165°C como marca la norma se calentó a 70°C para que no se derritiera el plástico, todo lo demás si se hizo conforme al procedimiento. Mas fotografías de la elaboración del experimento véase en los anexos.



Foto 57 – Diferentes especímenes.

Capitulo VI

Resultados

Tabla 26 – Resultados de los especímenes de agregado pétreo – cemento asfáltico.

EXPERIMENTO	% C.A.	DIAMETRO cm	ALTURA cm	PESO g	PESO VOLUMETRICO g/cm3	ESTABILIDAD Kgf	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDA CORREGIDA Kgf	% DE VACIOS
1	4.90	10.1	6.3	1090.2	2.16	0	1.01	0.00	0.067
G1 AP-CA001A	4.90	10.1	8	1262.5	1.97	158.4	0.84	133.06	0.073
G1 AP-CA001B	4.90	10.1	7.7	1243.4	2.015	185.9	0.72	133.85	0.071
G1 AP-CA002A	4.90	10.1	7.6	1240.7	2.0376	185.9	0.84	156.16	0.071
G1 AP-CA002B	4.90	10.1	7.7	1260.7	2.0436	221.7	0.84	186.23	0.070
G1 AP-CA003	4.90	10.10	8.00	1306.90	2.04	213.40	0.84	179.26	0.071

En el espécimen 1 no tiene valores debido a que se paso el tiempo que se tiene para sacar el espécimen del baño maría y colocarlo en la máquina Marshall que fueron más de 30 segundos.

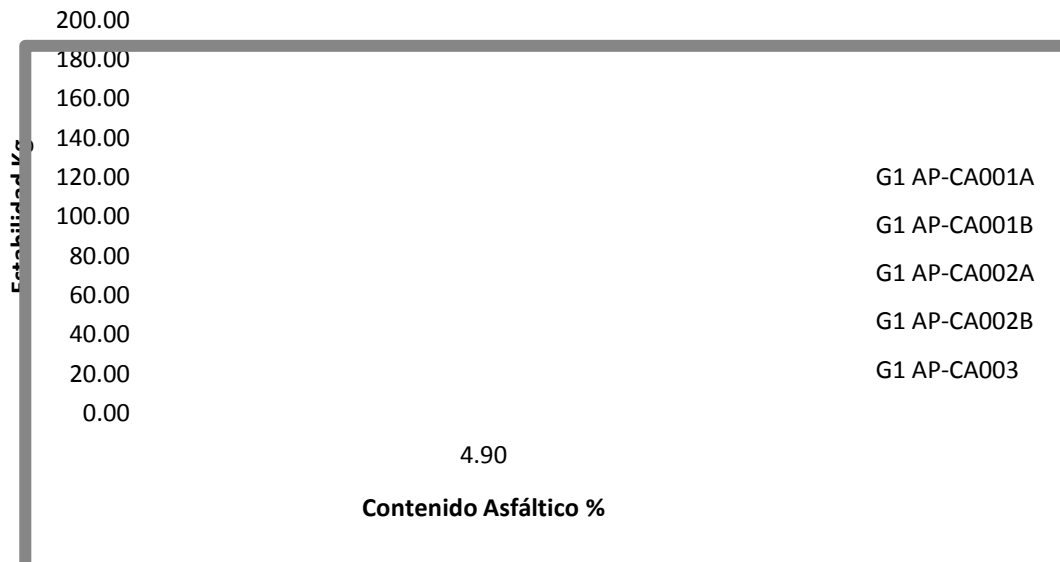


Figura 14 – Gráfica estabilidad con respecto al porcentaje de contenido asfalto.

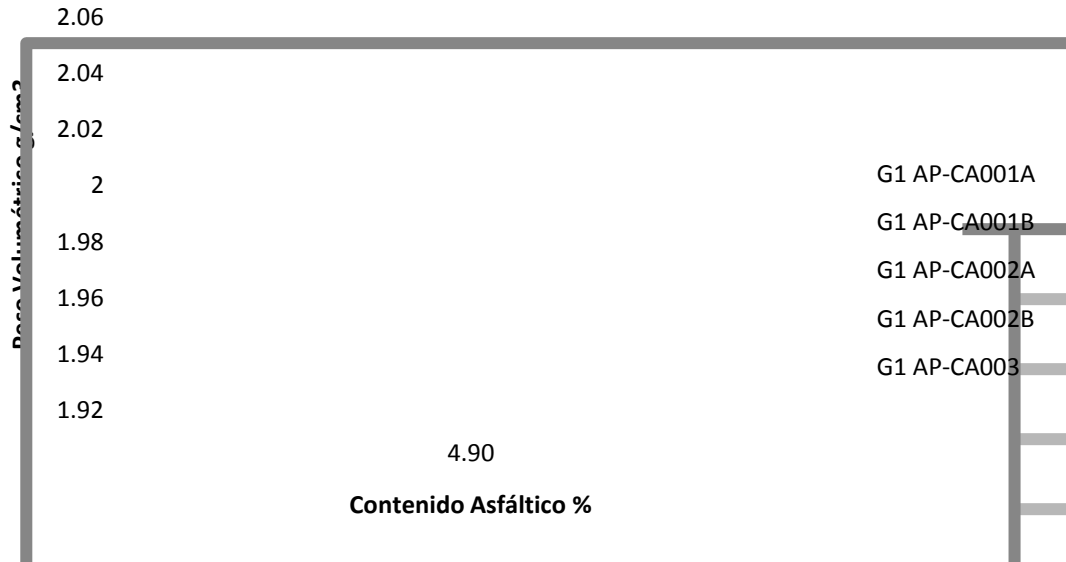


Figura 15 – Gráfica peso volumetrico con crepecto al porcentaje de contenido asfalto.

La figura 14 y 15 representan las mezclas de agregado pétreo con cemento asfáltico, la primera es una grafica de la estabilidad con respecto el porcentaje de cemento asfáltico que es de 4.90 el porcentaje optimo que nos arrojaron los datos, la segunda muestra el peso volumétrico con respecto el porcentaje de cemento asfáltico.

La tabla 27 muestra los resultados obtenidos de los especímenes de agregado plástico con cemento asfáltico, se puede observar que el peso volumétrico es menos que la unidad es por eso que flotaba cuando estaba sumergido en el baño maría.

Tabla 27 – G3 P-CA001 Agregado Plástico – Cemento Asfáltico.

EXPERIMENTO	% C.A.	DIAMETRO cm	ALTURA cm	PESO g	PESO VOLUMETRICO g/cm ³	ESTABILIDAD Kgf	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDA CORREGIDA Kgf	% DE VACIOS
G3 P-CA001	4.90	10.10	8.50	627.60	0.92	232.70	0.84	195.47	-1.156
G3 P-CA002	4.90	10.10	10.96	608.20	0.69	172.10	0.84	144.56	-0.101
G3 P-CA003	4.90	10.10	7.00	465.40	0.83	185.90	0.84	156.16	-0.256

En la figura 16 vemos la estabilidad que se obtuvo en los especímenes de plástico con asfalto.

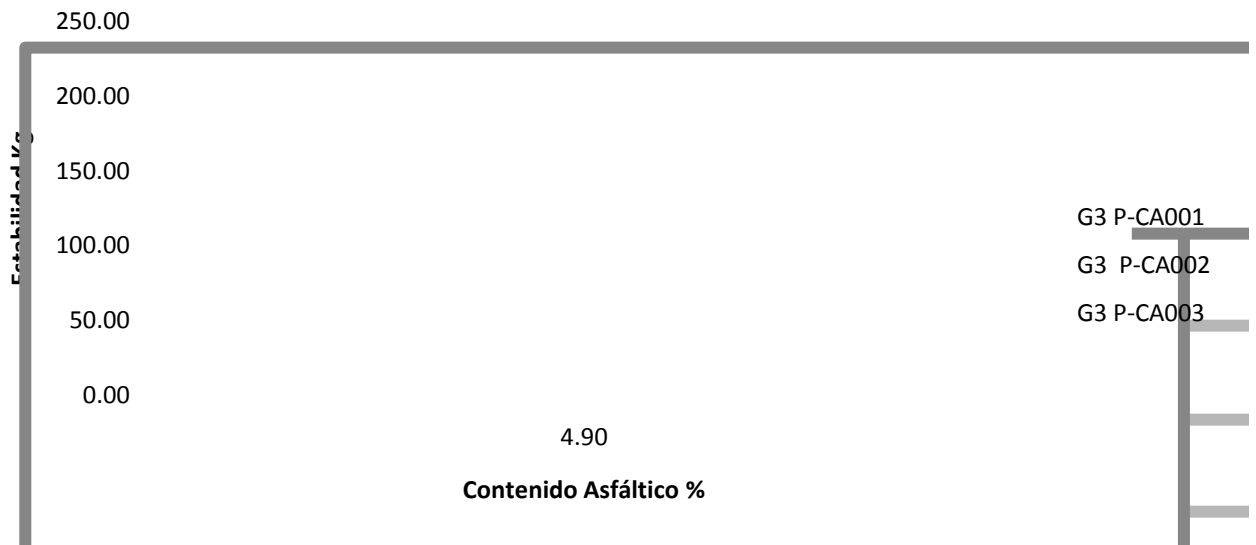


Figura 16 – Estabilidad Vs Contenido asfáltico en mezclas plástico – asfalto.

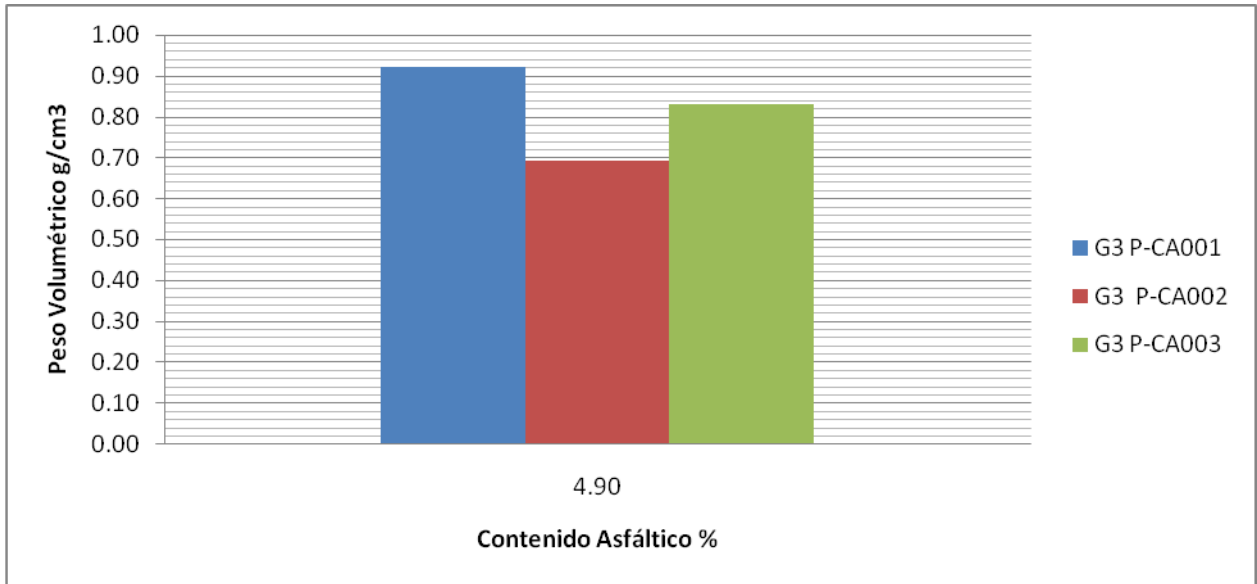


Figura 17 – Grafica de peso volumétrico con respecto al porcentaje de asfalto.

En la figura 18 se muestra una comparativa de las estabilidades que arrojaron tanto los especimenes que contenian agregado petreo, como agregado plastico, y en la figura 19 el peso volumétrico.

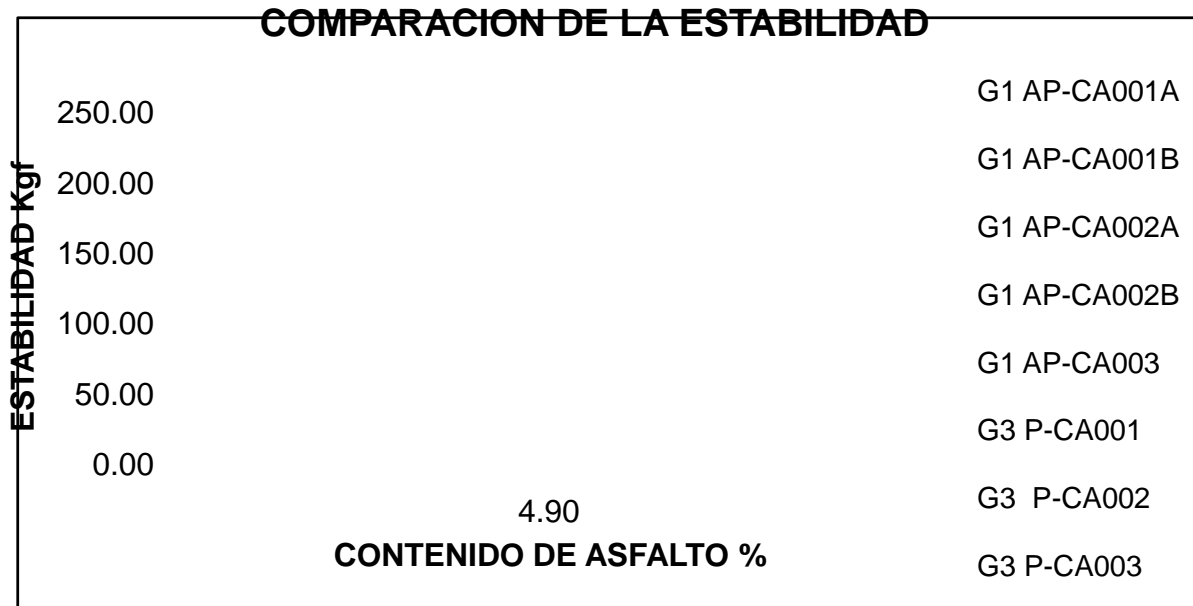


Figura 18 – Comparación de la estabilidad de todos los especimenes.

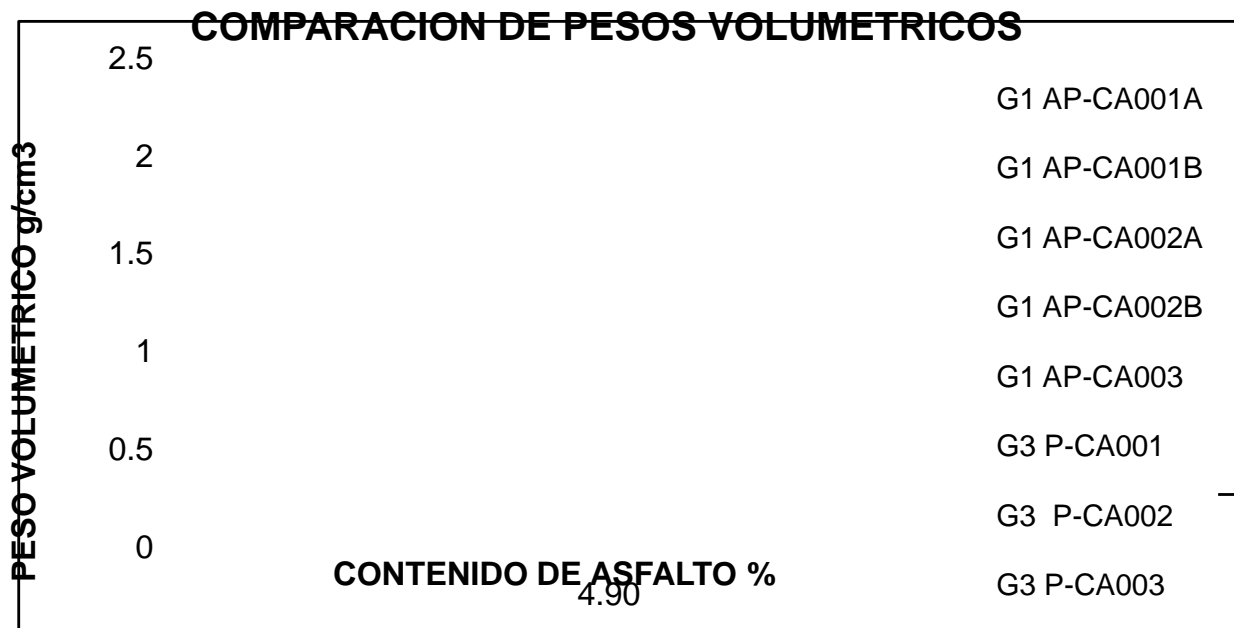


Figura 19 – Comparación de pesos volumétricos.

Capítulo VII

Alcances y Conclusiones

Al analizar y comparar los resultados de las muestras, las mezclas de plástico de desecho con cemento asfáltico dieron una resistencia del 13.52% por debajo que de las mezclas comunes, esto es en capacidad de carga.

El peso volumétrico de las mezclas con agregado pétreo fueron más del 50% mayor que las mezclas de plástico, es ahí donde se obtuvo una gran diferencia, incluso en algunas de las fotografías (foto 83) se puede observar que el espécimen que contenía plástico, en el baño maría esta flotando.

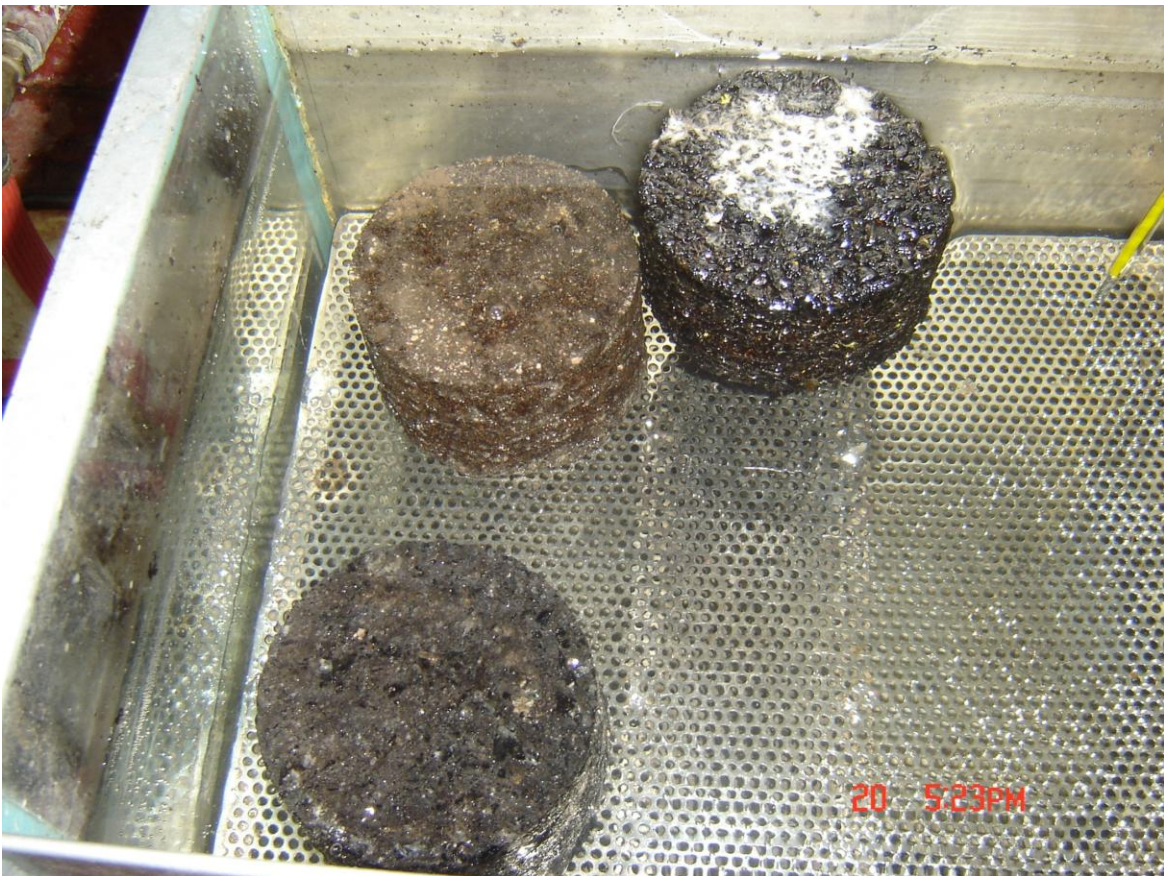


Foto 58 – Diferentes especímenes en baño maría.

Por lo cual se concluye que estas mezclas con agregado plástico, para ser recomendadas para pavimentos de calles, se tendría que hacer una prueba en una vialidad y estarla monitoreando para conocer su comportamiento al tráfico de los vehículos y al medio ambiente.

Sin embargo si se pueden construir andadores, banquetas, ciclopistas, y otras vialidades, donde no haya tráfico pesado y se van a tener que cuidar muy bien los drenajes pluviales debido a su poco peso volumétrico, incluso se en la sustitución del tartán en pistas.



Foto 59 y 60 superficies de especímenes, mezcla común y mezcla con plástico.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Mexicana del Asfalto (Ed.) (2004). Criterios de pavimentos flexibles y calidad de mezclas asfálticas. [CD-ROM 3]. México: Asociación Mexicana del Asfalto.

Carlos Crespo Villalaz (1993). Vías de Comunicación. Editorial Limusa. Segunda edición, cuarta reimpresión.

Ing. Manuel Zarate Aquino (2003). Diseño de pavimentos Flexibles. México, Asociación Mexicana del Asfalto, A.C.

NMX-C-026-1974 determinación del contenido de bitumen en materiales bituminosos. Ethod of test for determination of bitumen in bituminous materials.

NMX-C-087-1980 industria de la construcción - materiales bituminosos - determinación de la viscosidad saybolt-furol. Building industry - bituminous materials - determination of saybolt-furol viscosity. Diciembre de 2004.

NMX-C-101-1974 determinación del residuo de 100 de penetración en asfaltos rebajados. Method for determination of residue of 100 penetration on asphalt fillers.

NMX-C-135-1975 determinación de la ductibilidad de los materiales bituminosos. bituminous materials - determination ductility.

NMX-C-196-1984 industria de la construcción - agregados - resistencia a la degradación por abrasión e impacto de agregados grueso usando la máquina de los angeles - metodo de prueba. Building industry - aggregates - resistance to degadation by abrasion and impact of coarse aggregates using the angeles machine - test method.

NMX-C-197-1978 cementos asfálticos. Asphalt cements.

Rogelio de Paz Real (Junio del 2003). Manual de prácticas de laboratorio para la materia de diseño y construcción de pavimentos. Trabajo profesional para obtener el título de ingeniero civil, opción II elaboración de textos y prototipos didácticos.

Anexos A

NORMAS MEXICANAS DE LA SERIE "C" (NMX-C) MATERIALES DE CONSTRUCCION

Clave	Nombre
NMX-C-026-1974	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE BITUMEN EN MATERIALES BITUMINOSOS. METHOD OF TEST FOR DETERMINATION OF BITUMEN IN BITUMINOUS MATERIALS.
NMX-C-030-1997-ONNCCE Cancela y sustituye a la NMX-C-030-1986	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS - MUESTREO. BUILDING INDUSTRY - AGGREGATES - SAMPLING.
NMX-C-072-1997-ONNCCE Cancela y sustituye a la NMX-C-072-1983	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS - DETERMINACION DE PARTICULAS LIGERAS. BUILDING INDUSTRY - AGGREGATES - DETERMINATION OF LIGHTWEIGHT PIECES.
NMX-C-073-1990	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION- AGREGADOS-MASA - VOLUMETRICA- METODO DE PRUEBA. BUILDING INDUSTRY - AGGREGATE FOR CONCRETE - VOLUMETRIC MASS - TEST METHOD.
NMX-C-075-1997-ONNCCE Cancela y sustituye a la NMX-C-075-1985.	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS - DETERMINACION DE LA SANIDAD POR MEDIO DEL SULFATO DE SODIO O DEL SULFATO DE MAGNESIO. BUILDING INDUSTRY - AGGREGATES – DETERMINATION OF THE SOUNDNESS BY MEANS OF SODIUM SULFATE OR MAGNESIUM SULFATE
NMX-C-087-1980	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - MATERIALES BITUMINOSOS - DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL. BUILDING INDUSTRY - BITUMINOUS MATERIALS - DETERMINATION OF SAYBOLT-FUROL VISCOSITY.
NMX-C-088-1997-ONNCCE Cancela y sustituye a la NMX-C-088-1986	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS - DETERMINACION DE IMPUREZAS ORGANICAS EN EL AGREGADO FINO. BUILDING INDUSTRY - AGGREGATES - DETERMINATION OF ORGANIC IMPURITIES IN FINE AGGREGATE.

NMX-C-096-ONNCCE-2002 Cancela y sustituye a la NMX-C-096-1975	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD EN MATERIALES BITUMINOSOS - MÉTODO DE PRUEBA BITUMINOUS MATERIAL - DETERMINATION OF VISCOCITY.
NMX-C-097-1976	DETERMINACION DE LA TEMPERATURA DE INFLAMACION DE ASFALTOS REBAJADOS FR Y FM. DETERMINATION OF FLASH POINT OF FS AND MS LIQUID ASPHALTS.
NMX-C-098-1978	DESTILACION DE ASFALTOS REBAJADOS. DISTILLATION OF CUT BACK ASPHALTIC PRODUCTS.
NMX-C-100-ONNCCE-2002 Cancela y sustituye a la NMX-C-100-1980	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - MATERIALES BITUMINOSOS - DETERMINACION DEL TIEMPO DE FLOTACION. BUILDING INDUSTRY - BITUMINOUS MATERIALS - TIME OF FLOATING DETERMINATION.
NMX-C-101-1974	DETERMINACION DEL RESIDUO DE 100 DE PENETRACION EN ASFALTOS REBAJADOS. METHOD FOR DETERMINATION OF RESIDUE OF 100 PENETRATION ON ASPHALT FILLERS.
NMX-C-135-1975	DETERMINACION DE LA DUCTIBILIDAD DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS. BITUMINOUS MATERIALS - DETERMINATION DUCTILITY.
NMX-C-136-1970	CEMENTO PLASTICO BITUMINOSO. BITUMINOUS PLASTIC CEMENT.
NMX-C-164-ONNCCE-2002 Cancela y sustituye a la NMX-C-164-1986	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS - DETERMINACION DE LA MASA ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGUA DEL AGREGADO GRUESO. BUILDING INDUSTRY - AGGREGATES - DETERMINATION OF THE SPECIFIC MASS AND ABSORPTION WATER OF COARSE AGGREGATES.
NMX-C-165-1984	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS MASA ESPECÍFICA Y ABSORCION DE AGUA DEL AGREGADO FINO - METODO DE PRUEBA. BUILDING INDUSTRY - AGGREGATES - SPECIFIC MASS AND WATER ABSORPTION OF FINE AGGREGATE - TEST METHOD.
NMX-C-166-1990	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS - CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD POR SECADO METODO DE PRUEBA.

	BUILDING INDUSTRY - AGGREGATES - TOTAL MOISTURE CONTENT BY DRYING - TEST METHOD.
NMX-C-170-1997-ONNCCE Cancela y sustituye a la NMX-C-170-1986	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS - REDUCCION DE LAS MUESTRAS DE AGREGADOS OBTENIDAS EN EL CAMPO, AL TAMAÑO REQUERIDO PARA LAS PRUEBAS
NMX-C-183-1974	DETERMINACION DE LA TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS.
NMX-C-196-1984	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS - RESISTENCIA A LA DEGRADACION POR ABRASION E IMPACTO DE AGREGADOS GRUESO USANDO LA MAQUINA DE LOS ANGELES - METODO DE PRUEBA.
NMX-C-197-1978	CEMENTOS ASFALTICOS. ASPHALT CEMENTS.
NMX-C-198-1978	MATERIALES BITUMINOSOS - ASFALTOS - REBAJADOS DE FRAGUADO RAPIDO FR. BITUMINOUS MATERIALS - LIQUID ASPHALT (RAPID CURING).
NMX-C-203-1973	METODOS DE MUESTREO DE MATERIALES BITUMINOSOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION.
NMX-C-266-1978	EMULSIONES ASFALTICAS - CUBRIMIENTO DEL MATERIAL PETREO. ASPHALTIC EMULSIONS STONE MATERIAL COATING.
NMX-C-268-1978	MATERIALES BITUMINOSOS - ASFALTO REBAJADO DE FRAGUADO MEDIO. BITUMINOUS MATERIALS - LIQUID ASPHALT (MEDIUM – CURING TYPE).
NMX-C-270-1985	INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - AGREGADOS - RESISTENCIA AL RAYADO DE LAS PARTICULAS DEL AGREGADO GRUESO - METODO DE PRUEBA. BUILDING INDUSTRY - AGGREGATES - SCRATCH RESISTANCE OF COARSE AGGREGATE PARTICLES TEST METHOD.

Anexos B
Fotografías



Foto 61 y 62, Laboratorio Instituto Tecnológico de Nogales.



Foto 63. Juego Tamices Foto 64. Juego Espátulas Foto 65. Penetrómetro



Foto 66, maquina de los Ángeles Foto 67, Ductímetro Foto 68, compactador

G1 AP -CA001 Agregado pétreo – Cemento Asfáltico



Foto 69, peso del agregado



Foto 70, agregado #4



Foto 71, agregado #16



Foto 72, muestra 1200g



Foto 73, asfalto 58.78g



Foto 74, calentado



Foto 75, asfalto 120°C



Foto 76, mezclado



Foto 77, mezcla



Foto 78, moldes



Foto 79 y 80, compactador Marshall



Foto 81, lectura máxima



Foto 82, prueba finalizada

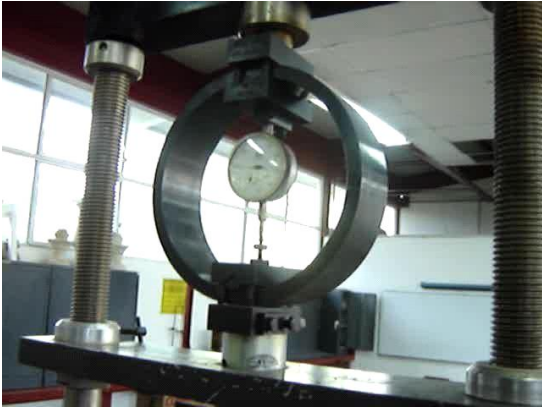


Foto 83, lectura maxima 2



Foto 84, espécimen ya fallado



Foto 85, vista superior del espécimen



Foto 86, espécimen desmoronado



Foto 87, vaciando la mezcla



Foto 88, espécimen compactado

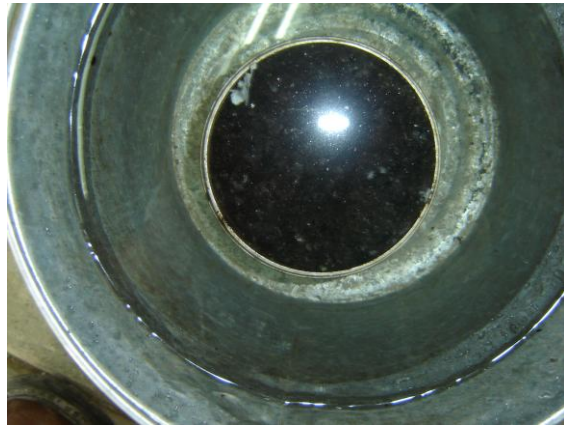


Foto 89, enfriamiento del espécimen



Foto 90, especímenes



Foto 91, especímenes en baño

Espécimen de prueba agregado plástico – cemento asfáltico.



Foto 92, mezclado



Foto 93, mezcla lista



Foto 94, enfriamiento



Foto 95, 5 minutos de baño



Foto 96, espécimen compactado

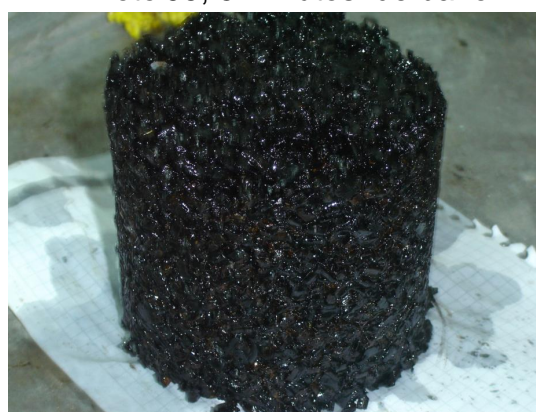


Foto 97, espécimen compactado



Foto 98, zoom

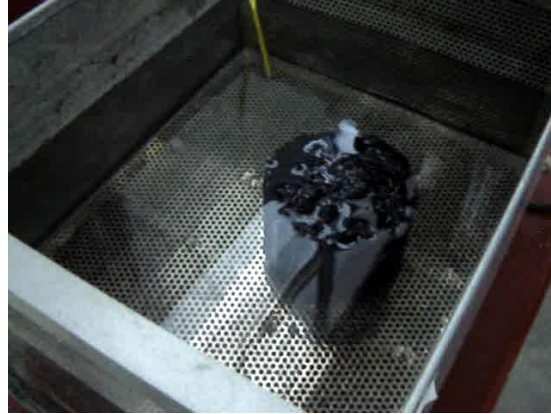


Foto 99, flotando



Foto 100, sumergido



Foto 101, saliendo a flote

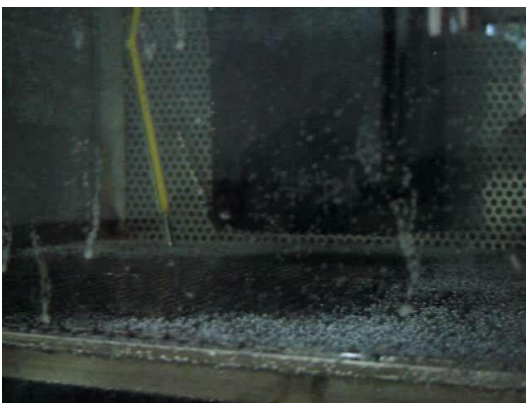


Foto 102, vista inferior



Foto 103, espécimen en Prensa Marshall



Foto 104, lectura máxima



Foto 105, concluyendo prueba



Foto 106, altura de flotamiento



Foto 107, en baño a 60°C



Foto 108, espécimen 1



Foto 109, espécimen 2



Foto 110, especimenes



Foto 111, vista superior



Foto 112, dentro del baño

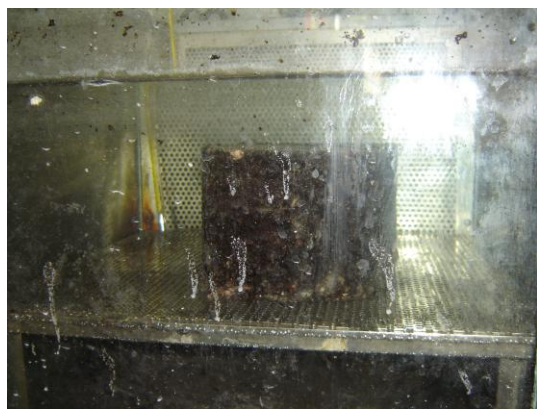


Foto 113, vista lateral



Foto 114, lectura de temperatura



Foto 115, lectura Marshall



Foto 116, prueba Marshall



Foto 117, extensómetro 0.0



Foto 118, lecturaMaxima 2

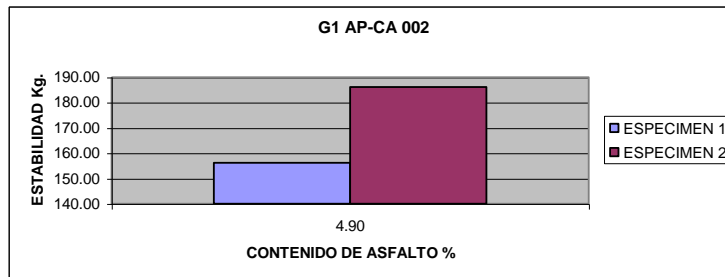
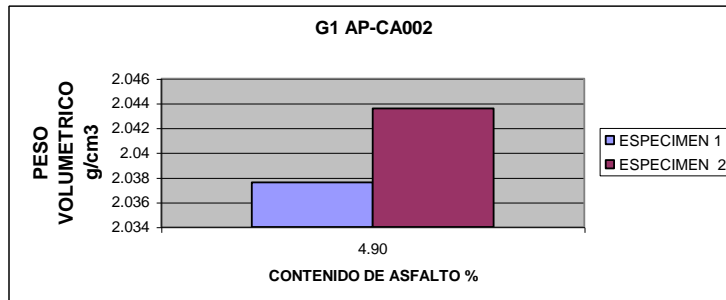


Foto 119, espécimen 2

Graficas de resultados.

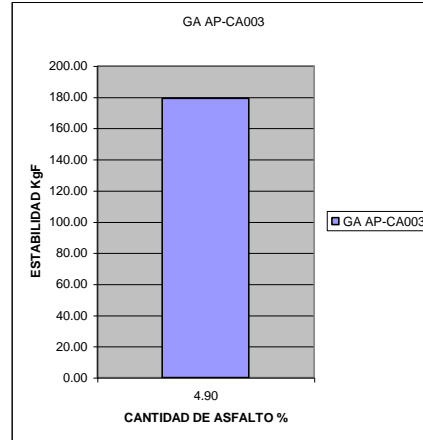
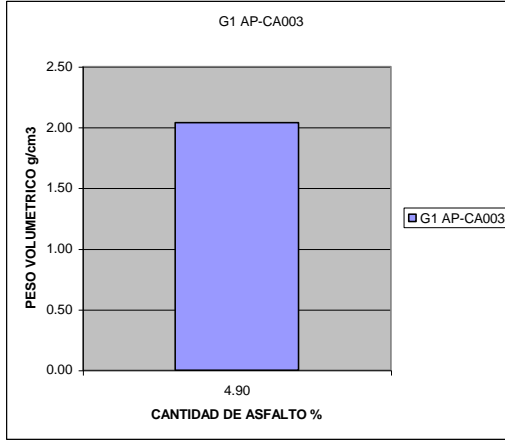
G1 AP-CA002

ESPECIMEN	% C.A.	DIAMETRO cm	ALTURA cm	PESO g	PESO VOLUMETRICO g/cm3	ESTABILIDAD Kgf	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDA CORREGIDA Kgf
1	4.90	10.1	7.6	1240.7	2.0376	185.9	0.84	156.16
2	4.90	10.1	7.7	1260.7	2.0436	221.7	0.84	186.23



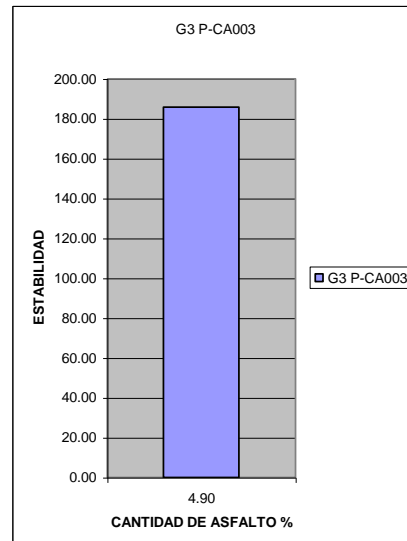
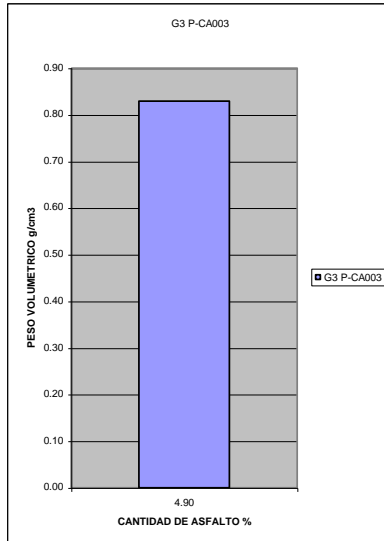
G1 AP-CA003

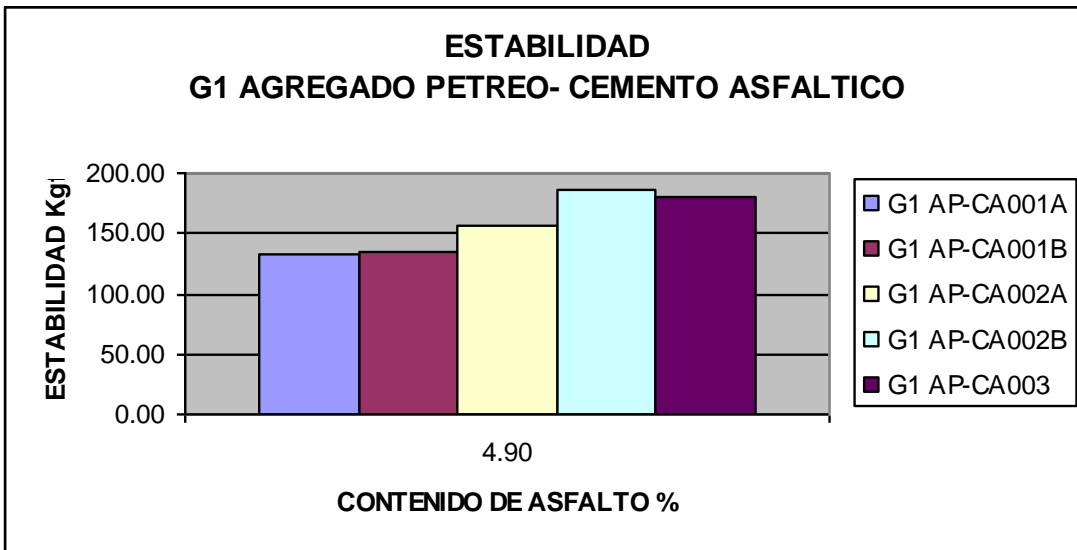
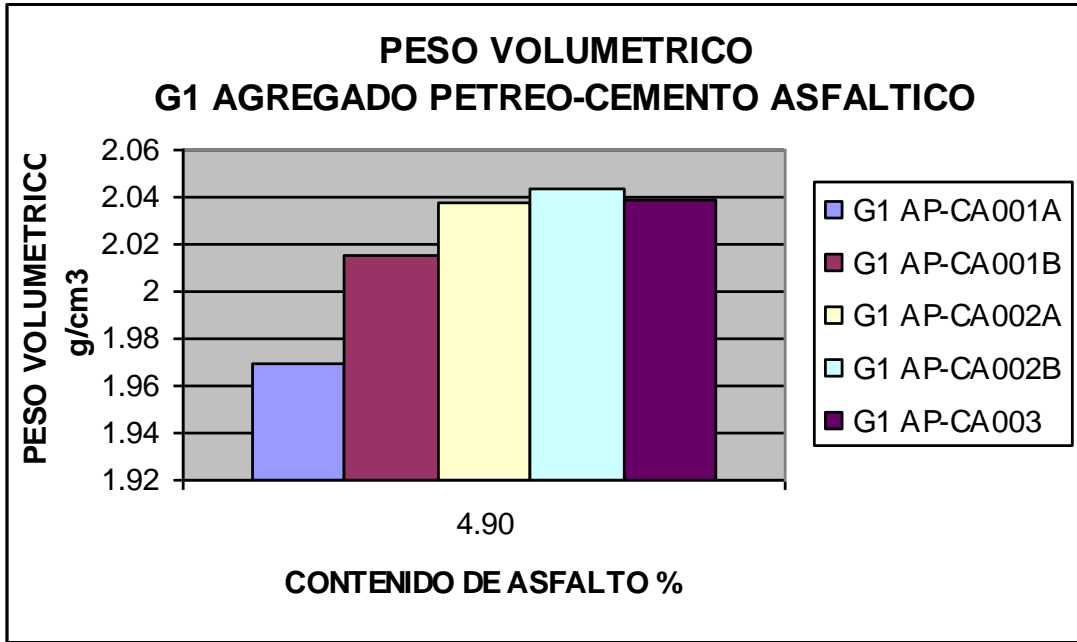
ESPECIMEN	% C.A.	DIAMETRO cm	ALTURA cm	PESO g	PESO VOLUMETRICO g/cm ³	ESTABILIDAD Kgf	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDA CORREGIDA Kgf
1	4.90	10.10	8.00	1306.90	2.04	213.40	0.84	179.26

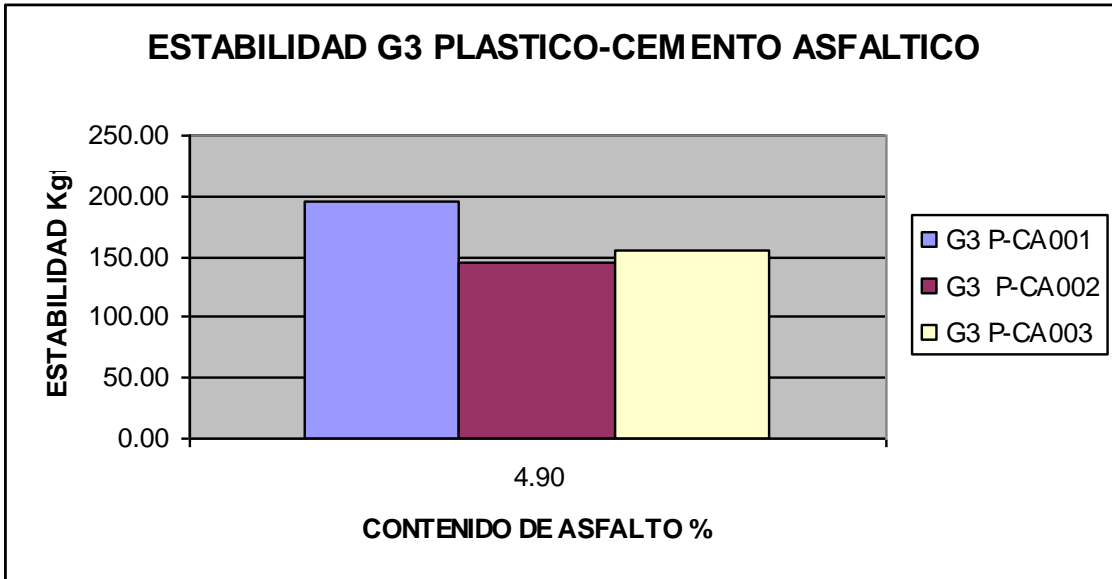
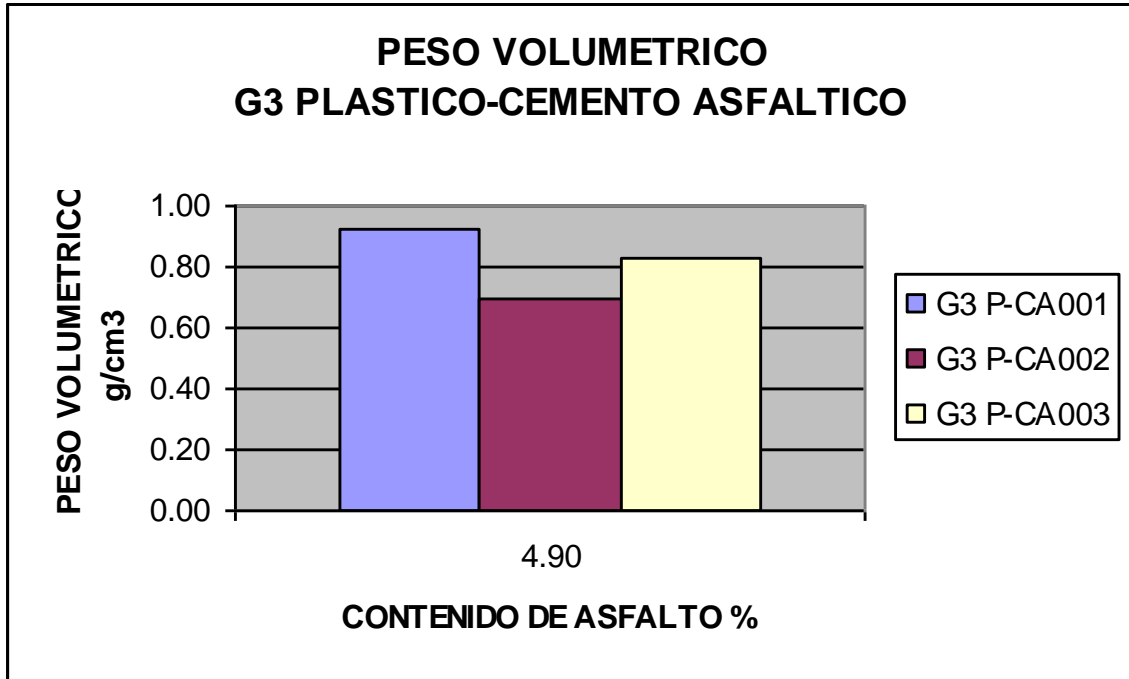


G3 P-CA003

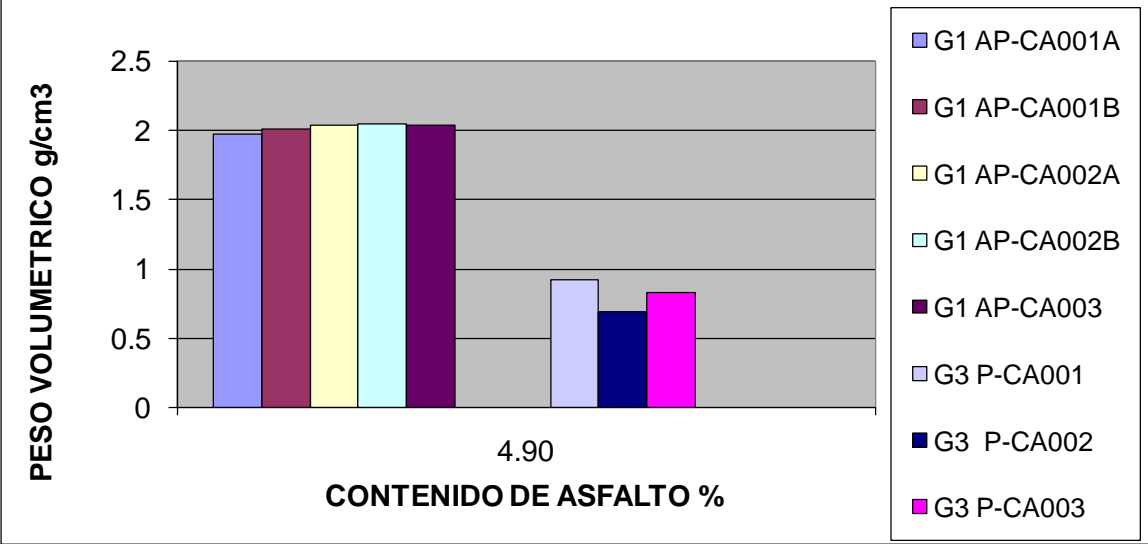
ESPECIMEN	% C.A.	DIAMETRO cm	ALTURA cm	PESO g	PESO VOLUMETRICO g/cm ³	ESTABILIDAD Kgf	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDA CORREGIDA Kgf
1	4.90	10.10	7.00	465.40	0.83	185.90	0.84	156.16



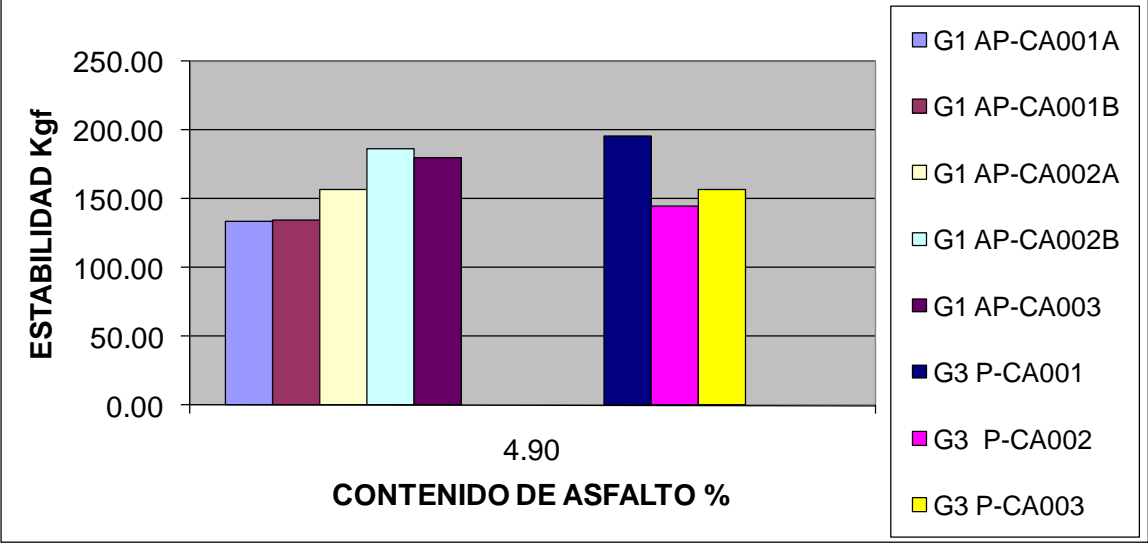




COMPARACION DE PESOS VOLUMETRICOS



COMPARACION DE LA ESTABILIDAD



Glosario de términos

Agregado.- Agregado, también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente.

Asfalto.- Es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

Plástico.- Materiales polímeros orgánicos (compuestos formados por moléculas orgánicas gigantes) que son plásticos, es decir, que pueden deformarse hasta conseguir una forma deseada por medio de extrusión, moldeo o hilado. Las moléculas pueden ser de origen natural, por ejemplo la celulosa, la cera y el caucho (hule) natural, o sintéticas, como el polietileno y el nailon.

Mezcla asfáltica.- Es un material de pavimentación que consiste de un ligante asfáltico con agregados minerales.

Reciclado.- Operación consistente en volver a someter a una materia a un ciclo de tratamiento total o parcial.

Tamices.- cedazos muy tupidos por el cual pasa el agregado.

Viscosidad.- propiedad que tiene un fluido de resistirse al movimiento uniforme de su masa.