

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLVO DE NEUMÁTICO SOMETIDA AL EFECTO DEL CONGELAMIENTO.”

TESIS

**PARA OPTENER EL TÍTULO DE
“INGENIERO CIVIL”**

PRESENTA:

P.I.C. LUIS ANGEL RAMIREZ SANCHEZ

ASESOR:

**DOCTOR EN INGENIERIA
MARIO SALAZAR AMAYA**

Co - ASESOR

INGENIERO CIVIL

ISAID CAMPA DOMINGUEZ

MORELIA, MICHOACAN DICIEMBRE 2016

CARTA DE ACEPTACION



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 15 de Agosto de 2016

C. LUIS ANGEL RAMIREZ SANCHEZ
P R E S E N T E

Asunto: Carta de Aceptación
de Inicio de Trabajo.

Por medio de la presente y en atención a su solicitud para iniciar el desarrollo de su trabajo relativo a la Licenciatura en Ingeniería Civil, una vez analizado el tema propuesto, se le comunica la aceptación a fin de que lleve a cabo el desarrollo del trabajo denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLVO DE NEUMÁTICO SOMETIDA AL EFECTO DEL CONGELAMIENTO.", mismo que será asesorado por el profesor Mario Salazar Amaya.

Sin más por el momento, me despido enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE


WILFRIDO MARTINEZ MOLINA
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil


P.A.
FACULTAD DE
INGENIERIA CIVIL
U. M. N. H.



CARTA DE IMPRESIÓN



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 22 de Agosto de 2016

C. LUIS ANGEL RAMIREZ SANCHEZ
P R E S E N T E

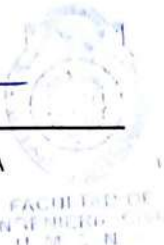
Asunto: Carta de Aceptación
de Impresión de trabajo.

Por medio de la presente, una vez revisado su trabajo denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLVO DE NEUMÁTICO SOMETIDA AL EFECTO DEL CONGELAMIENTO." a fin de obtener el título de INGENIERO CIVIL en esta Facultad a mi cargo, hago de su conocimiento que no existe inconveniente alguno para que esta se reproduzca.

Sin más por el momento, me despido enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE


WILFRIDO MARTINEZ MOLINA
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil



AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por darme vida, salud, fortaleza y la capacidad para realizar mis estudios Universitarios y culminar los mismos.

A MIS PADRES

Por su apoyo incondicional y su gran ejemplo de lucha, trabajo y dedicación en la vida... que me impulsaron a culminar una de las fases más importantes en mi superación personal

A MIS HERMANOS

Por ser parte de mí familia, cariño, enseñanza, apoyo, comprensión y por su compañía en mi vida y profesión.

A MIS AMIGOS

Gracias por la compañía en nuestro desarrollo profesional y por darme muchos ánimos para cumplir con esta meta.

A MI ACESOR

Gracias por la paciencia, sabiduría, amistad y apoyo profesional.

ÍNDICE

ÍNDICE	5
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCION	9
CAPITULO 1.- EL ASFALTO	10
1.1 ANTECEDENTES DEL ASFALTO	10
1.2 EL ASFALTO EN LA ACTUALIDAD	14
1.3 ALCANCES DE LOS ESTUDIOS DEL ASFALTO.....	18
1.4 ACTUALIZACIONES EN LA NORMATIVIDAD DEL ASFALTO.	21
CAPITULO 2.- ASFALTO MODIFICADO.	25
2.1.- ASFALTOS MODIFICADOS:	25
2.2.- ASFALTOS CON ADITIVOS:	25
2.3.- ASFALTOS ESPECIALES.....	25
CAPITULO 3.- RAZONES PARA USAR LA MODIFICADORES DE ASFALTOS.	27
3.1 DEFORMACIÓN DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS.	27
3.2 FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.	28
3.3 DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS NOCIVOS DEL AGUA.	33
3.4 DESPRENDIMIENTO.	36
CAPITULO 4.- CLASIFICACIÓN DE AGENTES MODIFICADORES DE ACUERDO A LA PROPIEDAD QUE MANIPULAN.	38
4.1 MODIFICADORES DE REOLOGÍA.....	38
4.2 ADITIVOS ENTENDEDORES (AZUFRE).	38
4.3 ADITIVOS ENDURECEDORES DEL ASFALTO.....	38
4.4 ADITIVOS ABLANDADORES DEL ASFALTO.	39
4.5 ADITIVOS REJUVENECEDORES DEL ASFALTO.....	39
4.6 REJUVENECEDORES EN RECICLADO.	39
4.7 REJUVENECEDORES EN ASFALTOS MODIFICADOS.	39
4.8 FIBRAS (CELULOSAS, ASBESTOS, POLIÉSTER, POLIPROPILENO).....	40
4. 9 ADITIVOS PARA MEJORAR LA ADHERENCIA (ANTISTRIPPING O DESINTEGRACIÓN).	40
CAPITULO 5.- AGENTES MODIFICADORES DE ASFALTO.	41
5.1 POLÍMEROS.....	41
5.2 HULE MOLIDO.....	46
CAPITULO 6.- ESTUDIO DEL MATERIAL PÉTREO.	51

TIPO DE MATERIAL QUE SE TRITURA EN LA PLANTA GRUPO DE ORO.	51
6.1 IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN	52
6.2 PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO	54
6.3 GRANULOMETRIA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	55
6.4 PRUEBAS DE DENSIDAD RELATIVA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	60
6.5 EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	63
6.6 PRUEBA DEL DESGASTE DE LOS ÁNGELES	65
6.7 TABLA DE RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS APLICADAS AL MATERIAL PÉTREO	69
6.8 CONCLUSIONES	70
CAPITULO 7.- CEMENTO ASFÁLTICO	71
7.1 DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFALTICO	71
7.2 PENETRACIÓN EN CEMENTOS ASFÁLTICOS	71
7.3 PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFALTICOS	73
7.4 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFALTICOS	74
7.5 PRUEBA DE DUCTILIDAD DE CEMENTOS ASFALTICO	76
7.6 TABLA DE RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS APLICADAS AL CEMENTO ASFALTICO	78
CAPITULO 8.- DISEÑO DE LA MEZCLA	78
8.1 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL	79
8.2 CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	82
CAPITULO 9.- MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMERO SOMETIDA A CONGELAMIENTO	98
9.1 INTRODUCCION	98
9.2 PROCESO Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES	99
9.3 CONGELAMIENTO DE ESPECÍMENES	103
9.4 PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA DE ESPECIMENES	104
9.5 RESISTENCIA DE ESPECÍMENES	109
9.6 COMPARATIVO ESPECÍMENES	110
CONCLUSIONES GENERALES	111
BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS	113

La presente investigación consintió en estudiar los diferentes tipos de mezclas asfálticas, sean de granulometría densa, en caliente y elaboradas por el método Marshall, sin embargo, las mezclas con el procedimiento convencional sometidas a congelamiento y modificadas con un polímero es el principal objeto de esta tesis, la cual consiste de la siguiente manera:

Capítulo 1. Introducción sobre los antecedentes históricos, en la actualidad y los alcances del asfalto.

Capítulo 2. Asfaltos modificados, con aditivos y especiales.

Capítulo 3. Razones para utilizar modificadores en el asfalto.

Capítulo 4. Clasificación de agentes modificadores de acuerdo a la propiedad que manipulan.

Capítulo 5. Agentes modificadores de asfalto.

Capítulo 6. Estudio del material pétreo.

Capítulo 7. Cemento asfáltico, características principales y a las pruebas que debe cumplir para el diseño de la mezcla asfáltica.

Capítulo 8. Diseño de la mezcla; la cual comprende la caracterización de los materiales utilizados en la mezcla asfáltica, así como la preparación y compactación de los especímenes, la determinación y selección del contenido mínimo y óptimo de asfalto.

Capítulo 9. Mezcla asfáltica modificada con polímero sometida a congelamiento

Palabras clave: Asfalto, Pétreo, Polímero, Diseño Marshall y congelamiento.

ABSTRACT

The present investigation consisted in studying the different types of asphalt mixtures, whether of dense, hot granulometry and elaborated by the Marshall method, however, the mixtures with the conventional procedure subjected to freezing and modified with a polymer is the main object of this Thesis, which consists of the following way:

Chapter 1. Introduction on the historical background, at present and the asphalt reaches.

Chapter 2. Asphalts modified, with additives and special.

Chapter 3. Reasons for using modifiers on asphalt.

Chapter 4. Classification of modifying agents according to the property they manipulate.

Chapter 5. Asphalt modifying agents.

Chapter 6. Study of the stone material.

Chapter 7. Asphalt cement, main characteristics and the tests to be performed for the design of the asphalt mix.

Chapter 8. Mix Design; Which includes the characterization of the materials used in the asphalt mix, as well as the preparation and compaction of the specimens, determination and selection of the minimum and optimum content of asphalt.

Chapter 9. Modified asphalt blend with freeze-dried polymer

INTRODUCCION

La función del ingeniero civil es la modificación del entorno; edificando o construir obras, en las que el hombre pueda realizar las actividades correspondientes a la nueva estructura. Cualquiera que sea el tipo de obra, esta debe cumplir con ciertas características que garanticen un servicio correcto, las cuales son: **Seguridad, funcionalidad, productividad, confort y economía**, este último, es el encargado de cubrir todas las características anteriores ya que en base al menor costo posible tanto en construcción, mantenimiento y conservación, será la clave del proyecto.

El uso moderno de asfaltos para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo pasado, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos. Hoy en día, los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastante sofisticados.

Una regla que no ha cambiado a través de la larga historia del asfalto en la construcción es la siguiente: “un pavimento es tan bueno como los materiales y calidad del proceso constructivo”. Ningún equipo sofisticado puede compensar el uso de materiales y técnicas constructivas deficientes.

La construcción de caminos es un factor de los más importantes para el desarrollo de un país, siendo estos la vía de comunicación más requerida, para entrelazar comunidades, pueblos, ciudades, etc... El reducir el costo de estas obras con la mayor calidad posible, es la principal preocupación del ingeniero civil, es por este motivo que, como en las demás áreas de la construcción, se esté en constante búsqueda de nuevos materiales o técnicas constructivas con la que se logre reducir los costos de las obras. Esta búsqueda desemboca en el uso de elementos nuevos, con propiedades específicas que se mezclan con el agregado y el concreto asfáltico, teniendo como resultado mejoras en la disminución del deterioro, en la resistencia, en los cambios climáticos y de temperatura, y resistencia al mayor agente corrosivo para el asfalto que es “el agua”. Estos nuevos elementos son conocidos como modificadores o aditivos para el asfalto. Puesto que en nuestro país no existen compañías o laboratorios que le apuesten al diseño de nuevas formas de asfalto y menos aún de estos productos.

La finalidad de este estudio es demostrar el “**mejoramiento de una mezcla asfáltica modificada con hule molido, sometidas a temperaturas bajas y a sus diferentes propiedades**”, a la cual; se le hacen una serie de pruebas de laboratorio, utilizando las normas de calidad de **la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)** y por la **ASTM**. Donde el objetivo es mejorar de diferentes propiedades del asfalto sin modificar, las cuales son: elasticidad, resistencia al agrietamiento, mayor periodo de vida y mínimo de mantenimiento, cambios climatológicos y de temperatura, y resistencia a la corrosión por el agua.

CAPITULO 1.- EL ASFALTO

1.1 ANTECEDENTES DEL ASFALTO

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

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C. Excavaciones efectuadas en Tel IAsmer, a 80 km al noreste de Bagdad, permitieron constatar que los Sumerios habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción. Dicho mastic, compuesto por betún, finos minerales y paja, se utilizaba en la pega de ladrillos o mampuestos, en la realización de pavimentos interiores (de 3 a 6 cm de espesor), para tratamientos superficiales externos de protección y como revestimiento impermeable en los baños públicos. Este género de aplicaciones se repite en numerosas regiones de Mesopotamia, al igual que en el Valle del Indo (Mohenjo-Daro). A la sazón, los Egipcios le habían encontrado otra aplicación al betún, como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, práctica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 A.C.

Teniendo en cuenta el gran número de aplicaciones posibles y conocidas de los ligantes hidrocarbonados, es normal que se encuentren numerosas alusiones en la literatura al respecto. Es así como en la Biblia, se menciona en varias oportunidades su uso- a propósito del Arca de Noé, de la Torre de Babel, de la Cuna de Moisés, de las Murallas de Jericó, etc. Numerosas citaciones figuran en casi todos los libros griegos o Latinos, que, según los casos, describen los yacimientos de betún natural o de asfalto, la fabricación del alquitrán de madera, los diversos usos o curiosas propiedades de este producto.

Los árabes desarrollaron un uso medicinal al asfalto, el cual se extendió hasta nuestra época. Se utiliza para el tratamiento de enfermedades a la piel y como desinfectante tópico. Dada las propiedades combustibles que presentan los ligantes hidrocarbonados, es que en la antigüedad se utilizaban con fines bélicos o destructivos, en forma de bolas de betún encendidas las cuales eran catapultadas y en forma de baños incandescentes, prolongándose hasta la Edad Media. Por último, cabe destacar el papel desempeñado por los ligantes hidrocarbonados en el calafateo y protección de los cascos de las embarcaciones.

El betún natural fue descubierto a mediados del siglo XVI, en la Isla de Trinidad, por Cristóbal Colón. Un siglo más tarde, Sir Walter Raleigh quedó asombrado ante este Lago de Betún y tomó posesión de él para la Corona Británica.

Se puede considerar que el 19 de agosto de 1681, abrió una nueva era para los ligantes hidrocarbonados, dado que los ingleses Joakin Becher y Henry Serie registraron una patente relativa a "un nuevo método para extraer brea y alquitrán del carbón de piedra", que según sus autores permitía obtener un alquitrán tan bueno como el de Suecia.

Mientras tanto, en 1712, el griego Eirini D'Eyrinis hizo otro descubrimiento: el yacimiento de asfalto de Va de Travers en Suiza y luego el yacimiento de Seyssel en el Valle del Ródano. A partir de estos yacimientos se elaboró el "mastic de asfalto", aplicado a revestimientos de caminos y senderos. Las primeras aplicaciones tuvieron lugar en las afueras de Burdeos y en Lyon. En el año 1781, Lord Dundonald realiza los primeros estudios relativos a la calidad y utilización del alquitrán de hulla y barniz de hulla.

En 1824, la firma Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines de asfalto, que en 1837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los Campos Elíseos en París. En 1852, la construcción de la carretera Paris-Perpiñán utilizó el asfalto de Val Travers, significando el comienzo de una nueva forma de construcción vial. En 1869, se introduce el procedimiento en Londres (con asfalto de Val de Travers), y en 1870 en los Estados Unidos con similar ligante. Desde esta época, el "asfalto" se implantó sólidamente en las vías urbanas y propició significativamente su uso vial.

La construcción del primer pavimento, tipo Sheet Asphalt, ocurre en 1876 en Washington D.C., con asfalto natural importado. En 1900 aparece la primera mezcla asfáltica en caliente, utilizada en la rue du Louvre y en la Avenue Victoria en París, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la Isla de Trinidad.

A partir del año 1902, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo en los Estados Unidos, que por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento.

La aparición y desarrollo de la circulación automovilística en las carreteras de aquel entonces - de macadam a base de agua - provocaban grandes nubarrones de polvo, ello dio origen a los tratamientos superficiales a base de emulsiones en el año 1903, con objeto de enfrentar dicho inconveniente. En 1909 en Versalles, sobre el firme de una carretera con un tráfico diario de 5000 vehículos, se construyó una capa de aglomerado bituminoso de 5 cm de espesor. Así pues, en los albores del siglo XX, ya existían los principales componentes de la técnica de revestimientos bituminosos. Su desarrollo y perfeccionamiento, es tarea que incumbe a los profesionales del asfalto del siglo XX.

Betunes:

El betún se obtiene generalmente por destilación a vacío del petróleo. La mayoría de los autores coinciden en que los betunes están constituidos, desde el punto de vista estructural, por un sistema coloidal multifásico. Así, se distinguen comúnmente tres grupos de compuestos en el betún: asfáltenos, resinas y aceites. Las resinas y aceites forman la fracción malténica.

Distintas proporciones de estos compuestos dan lugar a diferentes micro estructuras en el betún. Así, si resinas y asfáltenos se encuentran dispersos en la fase malténica, sus interacciones son muy débiles y el betún se comporta como una dispersión dotada de propiedades viscosas. Un aumento de las asociaciones de asfáltenos produce estructuras compactas de marcadas propiedades visco elástico.

EL petróleo es un producto natural localizado a grandes profundidades de la corteza terrestre, es una compleja mezcla de un importante número de hidrocarburos, y que por medio de una destilación fraccionada es dividida en pequeños grupos de estos hidrocarburos de volatilidad diferente. Estos hidrocarburos contienen en su estructura molecular carbono e hidrógeno principalmente. La composición química del petróleo varia, de acuerdo a la localización del yacimiento y la antigüedad del mismo, pero el promedio establecido es de 83% a 86% de carbono y entre el 11% y 13% de hidrogeno, esto beneficia al petróleo, ya que entre mayor sea el contenido de carbono contra el hidrogeno se tiene mayor cantidad de productos pesados que contienen el mismo crudo, en estudios realizados se ha comprobado que entre más viejos sean tienen mayores hidrocarburos gaseosos y sólidos y menos líquidos entran en su composición.

El asfalto es un material al que los ingenieros civiles destinan un amplio y funcional número de aplicaciones en la actualidad. Se emplea significativamente en la construcción de carpetas, superficie de rodamiento; revestimientos de obras hidráulicas, impermeabilización de edificaciones, etc.

El asfalto es un componente natural del petróleo, en el que existe en disolución. Para obtener el asfalto del petróleo crudo se somete a destilación, de esta forma se separan sus diversas fracciones y se recupera, entre otras sustancias, el asfalto. Mediante procesos similares la naturaleza da origen también a yacimientos naturales de asfalto, en algunos de los cuales éste se encuentra prácticamente libre de materias extrañas, mientras que en otros casos está mezclado con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias. En la ILUSTRACIÓN 1 se muestra un diagrama que indica de forma esquemática la obtención de los diferentes productos a los que da origen el betún, que es la forma en que se le llama al petróleo crudo.

Para el ingeniero el asfalto es un material de particular interés porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia práctica que da flexibilidad controlable a las mezclas de agregados pétreos con las que se combinan usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

1.2 EL ASFALTO EN LA ACTUALIDAD

Las actividades del hombre están, de forma sumamente importante, en función de la existencia del petróleo en la actualidad. Una enorme cantidad de productos que se emplean hoy en día se fabrican a partir de algún componente del petróleo, las actividades más simples que desarrolla el hombre, hasta las más complejas exigen de herramientas elaboradas a partir de esta sustancia. Sin embargo, el petróleo como recurso natural en agotable, es decir, el hombre no tiene la posibilidad de renovar este útil recurso del cual hacemos un uso sumamente importante.

Con base en lo anterior y deduciendo de la importancia económica que significa este recurso para nuestro país, siendo la exportación de crudo la fuente de ingresos de México, como en muchos otros, se puede observar con facilidad los motivos del uso y el trato tan meticuloso que se le da al petróleo, y el porqué es el uso tan racional que se le asigna: a tal grado que se agota cada recurso posible para su obtención, y se implementan nuevas técnicas para lograr una explotación máxima en los pozos petroleros.

El hecho de que el petróleo no sea renovable, no es el único dilema existente en la actualidad, pues como ya se mencionó, también se encuentra que la característica de este varía de acuerdo a los diferentes puntos de obtención, de la profundidad, (el tiempo de explotación), a la que se encuentra y de la edad del yacimiento. Es decir que los procedimientos constructivos, en el caso del ingeniero, se ven afectados al cambiar las características de los materiales asfálticos obtenidos del petróleo, a tal grado que se tienen que crear nuevas normas para estos, dar a conocer los productos que se han dejado de producir, los nuevos productos y sus características.

Por los motivos expuestos anteriormente, se han desarrollado estudios sobre el asfalto con los que se pretende conocer las características de este material, y así hacer un mejor uso del mismo. A grandes rasgos los resultados de estos estudios, basados en la composición química de los asfaltos y la relación con sus propiedades físicas tuvo los resultados que se redactan en lo siguiente.

EL petróleo, del cual son obtenidos los asfaltos, constituye el resultado de la descomposición de grandes depósitos de materia orgánica, en los estratos inferiores de la corteza terrestre, al abrigo del aire y en condiciones variables de temperatura y presión, en un lento proceso de millones de años. Esto dio origen a la formación de una enorme diversidad de estructuras moleculares en los componentes integrales del petróleo formado.

Los asfaltos, obtenidos como residuos de la destilación del petróleo, están constituidos al igual que este, por una compleja mezcla de hidrocarburos compuestos orgánicos integrados básicamente por carbono e hidrógeno, y en cantidades menores, oxígeno, nitrógeno, azufre e iones metálicos. Los heteroátomos, particularmente el nitrógeno y el oxígeno, y la presencia de anillos aromáticos, contribuyen significativamente a la polaridad de las moléculas, produciendo una mayor asociación de fuerzas que ejercen su influencia sobre las propiedades físicas de los asfaltos.

Al presentar los asfaltos, propiedades que se apartan del comportamiento de las soluciones verdaderas, (flujos Newtonianos), fueron consideradas como coloidales, así Nellesstein elaboro el concepto del "modelo micelar", donde los asfáltenos, como grupo de las micelas, conformaban la fase dispersa o discontinua en una fase continua constituida por los maltenos (medio oleoso).

Los asfaltos son peptizados por las fracciones polar-aromáticas integrantes de los maltenos. Cuando ellos son totalmente peptizados, las micelas tienen libertad de movimiento en el sistema coloidal, por el contrario, cuando la proporción de la fracción polar-aromáticos no es suficiente para producir la peptización total de los asfáltenos, el asfalto presentará un comportamiento no Newtoniano, flujo complejo y tixotropía.

"Péptizar: De péptidos. Combinación de tipo química de varios aminoácidos entre sí, de tal manera que el grupo carboxilo de uno reacciona con el anímico del otro."

Sin embargo, deben tenerse en cuenta las características intrínsecas de los asfáltenos, ya que asfáltenos con alto grado de asociación, requerirán para su peptización, maltenos con alta capacidad dispersante. En tanto que, asfáltenos débilmente asociados serán peptizados con facilidad por maltenos con débil poder dispersante.

Recientes estudios han conducido a la revisión del modelo micelar, ya que, mediante el mismo, no era posible fundamentar acabadamente el comportamiento y las propiedades presentadas por los asfaltos. Por lo que se optó por el concepto del "modelo micro estructural", el cual está basado en la teoría de que el asfalto estaría conformado por una fase única, en la cual "las moléculas no polares actúan como solventes de las que presentan polaridad, formando éstas últimas, redes de asociaciones débiles del tipo polar-polar, dispersas en el asfalto". Estas fuerzas intermoleculares de baja magnitud, mantiene unida esta estructura, la que por efecto de fuerzas y/o cambios térmicos, se rompen o interrumpen para dar lugar a nuevas interacciones.

De lo expuesto anteriormente, se concluye en que la química de los asfaltos es de muy alta complejidad, siendo imposible la identificación y cuantificación de cada uno de sus componentes. Un importante aporte al conocimiento de la composición de los asfaltos, lo constituye la separación de los mismos en separaciones genéricas menos complejas y más homogéneas. Las que están compuestas a su vez por mezclas de diversas especies químicas.

Las técnicas usadas para la obtención de estas fracciones genéricas son de muy diversas metodologías, tales como: separación por solventes parciales, precipitación química, etc. cada uno de estos esquemas de fraccionamiento, permiten aislar fracciones genéricas que son particulares para cada técnica empleada, las que a su vez no será necesariamente las mismas, en cuanto a sus propiedades y constitución, para asfaltos que provengan de distintos orígenes. Sin embargo, son de utilidad para el estudio de la relación entre el comportamiento y la composición química de los asfaltos.

En la actualidad, el asfalto se obtiene como un sub-producto del petróleo. El asfalto que se emplea para pavimentar es el de destilación, que se consigue de los hidrocarburos que permanecen luego del refinamiento del petróleo procesado para producir gasolina y otros productos. De los residuos del petróleo, procesados a temperaturas de entre 204 y 316 grados, se obtiene también un tipo de asfalto empleado específicamente en la fabricación de materiales para tejados y productos afines. El asfalto, utilizando temperaturas de cerca de los 500 grados, es empleado también en la fabricación de materiales aislantes.

Sus Usos

El asfalto es un material de vital importancia en la construcción civil. Su utilización tiene formas muy variadas, pero es usado principalmente como material para revestir carreteras, impermeabilizar o aislar estructuras (depósitos, techos, tejados, etc.), así como en la fabricación de baldosas, pisos y tejas.

Su mayor y más espectacular protagonismo reside en la utilización que ha tenido para la construcción de carreteras en todo el mundo. La capacidad que tiene el asfalto para permitir una excelente unión y cohesión entre los agregados, su condición impermeabilizante que hace a la estructura del pavimento escasamente sensible a la humedad, su eficacia para impedir la penetración del agua que proviene de las lluvias, al tiempo que es capaz de resistir la acción de presión y disgregación ocasionadas por las cargas vehiculares, ha logrado que éste producto se haya constituido en el aliado indiscutido en los proyectos de construcción de vías pavimentadas.

Como el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

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



1.2.- Ilustración de construcción de carpeta asfáltica

En la construcción de carpetas asfálticas se utilizan materiales pétreos que se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- a). - **Materiales granulares naturales que no requieren ninguna preparación previa de trituración o cribado** tales como las arenas o granitos desintegrados utilizados en la construcción de mezclas asfálticas.
- b). - **Materiales granulares naturales que requieren un cribado o una trituración parcial** para eliminar las partículas de tamaño mayor que el especificado, tales como las gravas y arenas de río que se utilizan en la elaboración de mezclas asfálticas.
- c). - **Materiales naturales procedentes de la explotación de bancos de roca, o materiales de “pepena”**, que deberán triturarse y clasificarse en diferentes tamaños por medio de una operación de cribado, y que se utilizan en la elaboración de carpetas de mezcla asfáltica o en tratamientos superficiales.
- d). - **Los materiales de los grupos anteriores que requieran de un proceso de lavado.**
- e). - **Escorias de fundición que deberán triturarse y cribarse para obtener materiales de diversos tamaños.**

1.3 ALCANCES DE LOS ESTUDIOS DEL ASFALTO.

Los estudios mencionados anteriormente, adquieren gran importancia en los temas de interés de la ingeniería civil. Los resultados de estas investigaciones, aportaron los conocimientos necesarios para comprender, entre otros, el Fenómeno de endurecimiento del asfalto, también conocido como fenómeno de oxidación, y más comúnmente envejecimiento del asfalto.

El fenómeno de endurecimiento del asfalto para carreteras, es un fenómeno complejo, tanto porque las causas que lo producen son muy diversas, como porque es la causa de diversos procesos fisicoquímicas, difíciles de definir.

El endurecimiento puede mostrarse por fisuras en la carpeta asfáltica, migraciones del asfalto, separación del ligante y el agregado., entre otros. Además, el endurecimiento incrementa la rigidez de la mezcla, vinculándose con las deformaciones plásticas y posibles agrietamientos por fatiga que pueden afectar al pavimento flexible al relacionarse directamente con el estado tenso-deformación a que éste va a estar sometido.

Los factores que propician éste fenómeno, como se mencionó anteriormente son muy variados; aunque el más significativo, como se demostró en base a los estudios realizados, es el que tiene como causantes las propiedades fisicoquímicas del asfalto. De esta forma, los factores que se asocian con el endurecimiento son los nombrados a continuación:

I.- Operaciones en Las plantas mezcladoras.

1. Sobrecalentamiento en los tanques de almacenamiento del asfalto.
2. Excesivo calentamiento del asfalto y el agregado al realizar la mezcla.
3. Película asfáltica muy delgada para recubrir al agregado y el tiempo de mezclado
4. Tipo de mezclado.

II.- Operaciones de puesta en obra.

1. Demoras ocurridas en la compactación después de extendida la mezcla.
2. Inadecuada compactación, lo que origina un excesivo contenido de huecos.

III.- Agregados pétreos.

1. Granulometría de los agregados, demasiado abierta.
2. Excesivo- contenido de finos, lo que origina un excesivo de películas asfálticas de recubrimiento muy delgadas.
3. Áridos con alta absorción.

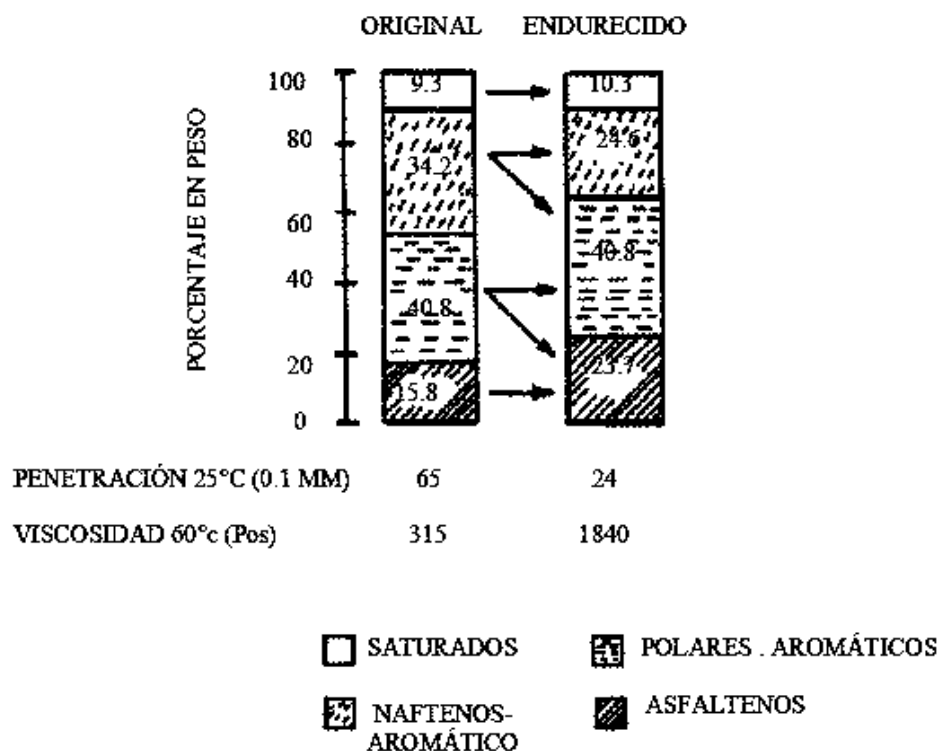
IV.- Características del asfalto.

Los puntos descritos anteriormente no constituyen un gran problema, pues siempre que exista un conocimiento elemental y sean usadas prácticas adecuadas en el diseño de la mezcla, en las operaciones de fabricación y puestas en obra de las mezclas asfálticas, no existe probabilidad de provocar daño prematuro en la carpeta por errores de esta naturaleza. De los factores que propician el endurecimiento del asfalto, el más crítico es el asfalto, como ya se había mencionado, y se considera que en la actualidad las especificaciones de calidad al respecto son un tanto inadecuadas, en lo que se refiere a la identificación de sus propiedades críticas y a su aprobación para la confección de mezclas asfálticas.

Las investigaciones realizadas, sobre el endurecimiento del asfalto, tomaron como base la incidencia de las diferentes condiciones climáticas, en las que se encuentran las carpetas asfálticas. De esta forma, científicos estadounidenses concluyeron que la alta temperatura del aire, es el factor más importante que afecta la velocidad y la magnitud del envejecimiento del asfalto en climas cálidos: por otra parte en Australia, se dedujo que la velocidad de oxidación térmica del asfalto se incrementa aproximadamente al doble por cada 100 °C de incremento en la temperatura, siendo el endurecimiento de la superficie asfáltica generalmente mayor, debido a la mayor temperatura y los efectos de la luz ultra violeta.

Por otra parte, se determinó que los intersticios y la porosidad del agregado pueden ser factores que propicien el fenómeno de endurecimiento del asfalto, sin embargo, estos factores son dependientes de la susceptibilidad del asfalto a este fenómeno. Es decir, que la permeabilidad del aire, por si misma, no es factor que incremente la velocidad de endurecimiento del asfalto: más aún, el contenido de huecos de los agregados en combinación con un insuficiente espesor de la película de recubrimiento de los pétreos, forman en conjunto influencia para acelerar el proceso de envejecimiento del asfalto.

Ahora, reiteramos la relación que existe, entre las propiedades químicas y las propiedades físicas de los asfaltos, además de las variantes de composiciones químicas que presentan los asfaltos, debido al tipo de crudo original del que provienen; de la misma forma, las variaciones en la composición y consistencia del asfalto debido al fenómeno de endurecimiento. Una muestra típica de la variación cuantitativa de los correspondientes asfaltos, producto del endurecimiento del asfalto durante un periodo de 18 años se muestra en la ILUSTRACIÓN 1.3.1, esta corresponde a un tramo de prueba construido en Estados Unidos de América. La composición mostrada está basada en una determinación cuantitativa de las cuatro fracciones genéricas encontradas en todo asfalto usado, el procedimiento usado es el ASTM-D-4124. Existen más métodos, (como ya se mencionó con anterioridad), para determinar la forma en que las fracciones de un asfalto integran al mismo, sin embargo, se hablará de éstas en otra sección, donde se dictará en forma breve la metodología que se sigue para realizarlos.



1.3.1 Ilustración de la variación de los componentes de un asfalto envejecido en un periodo de 18 años

Nótese en la figura que hay un significativo incremento del contenido de asfaltenos y una significativa reducción de los naftenos-aromáticos. Otras investigaciones han demostrado, que un cambio similar más pronunciado ocurre, cuando le sopla aire a un asfalto base para elevar su punto de ablandamiento. En general, se acepta que parte de la fracción naftenos-aromáticos se convierte en polar-aromática y parte de esta a su vez en asfaltenos. Este cambio incrementa la viscosidad, disminuye la penetración y aumenta el punto de ablandamiento, lo cual explica el desarrollo de una mayor consistencia en estos asfaltos envejecidos.

Los métodos de evaluación del fenómeno de endurecimiento del asfalto, son muy variados, sin embargo, según las normas concernientes a la construcción de vías de transporte terrestre, la estimación del fenómeno se puede lograr por dos vías: el ensayo estético de pérdidas de masa por calentamiento sobre película delgada (TFOT), normado según el procedimiento ASTM-D-1754 o el ASTHO-T-179, o la versión dinámica del ensayo anterior (RTFOT), regulada según el método ASTM-D-2872 o el ASTHO-T-240. Sin embargo, hay algunos que recomiendan el empleo solo de éste último, por su mayor rapidez y la acción uniforme del aire en la muestra.

1.4 ACTUALIZACIONES EN LA NORMATIVIDAD DEL ASFALTO.

En nuestro país, el organismo del estado que dicta las normas correspondientes a la construcción de caminos, las características de los materiales de construcción etc. es la SCT, en este caso hacemos notar la definición que esta dicta para el asfalto:

"El asfalto es un material bituminoso de color negro constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad: es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida".

Los materiales asfálticos se emplean en la elaboración de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados, para ligar o unir diferentes capas del pavimento: o bien para estabilizar bases o sub-bases.

También se pueden usar para construir, fabricar o impermeabilizar obras estructuras, tales como algunas obras complementarias de drenaje, entre otras.

Se clasifica a en cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, dependiendo del vehículo que se emplee para su incorporación o aplicación, como se indica en la TABLA 1 de la norma respectiva dictada por la SCT y se detalla a continuación. "En este caso en particular solo se hace mención de existencia de los productos asiáticos emulsiones y rebajados, pues no es parte del tema en desarrollo, enfocando únicamente a los cementos asfálticos.

Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, morteros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.
Emulsión asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, morteros, riegos y estabilizaciones.
Asfalto rebajada	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de sub bases y bases hidráulicas "Por razones ecológicas. PEMEX, suspendió la fabricación de asfaltos rebajados en 1995

Tabla 1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS

1.4.1 CEMENTOS ASFÁLTICOS

Los cementos asfálticos son asfaltos obtenidos del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites. Su viscosidad varía con la temperatura y

entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al ser calentados se licúan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas del material pétreo.

Según su viscosidad dinámica a sesenta (60) grados Celsius, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la TABLA 1.4.1 de esta Norma, donde se señalan los usos más comunes de cada uno.

Además, en la ILUSTRACIÓN 3, se muestran las recomendaciones para su uso, de acuerdo a la región geográfica en la que se vaya a dar uso del material.

Clasificación	Viscosidad A 60°C Pa. s (P ¹)	Usos más comunes
AC-5	50 ± 10 (500 ± 100)	• En La elaboración, de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones • En La elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poréo con arena, así como de estabilizaciones.
AC-10	100 ± 20 (1000 ± 200)	• En La elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 2 de la figura 1 • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frio, así como carpetas por el sistema de riegos. Dentro de las zonas indicadas, como la zona 1, como en la figura 1
AC-20	200 ± 40 (2000 ± 400)	• En la elaboración de carpetas de mezcla en aliente dentro de las regiones indicadas, como zona 3 en la figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frio, así como carpetas por el sistema de riegos. Dentro de las zonas indicadas, como la zona 2, como en la figura 1.
AC-30	300 = 60 (3000 ± 600)	• En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas, como zona 4 en la figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frio, así como carpetas por el sistema de riegos. Dentro de las zonas indicadas, como la zona 3 y 4, como en la figura 1. • En la elaboración asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezclas en frio, así como en riegos de impregnación.

TABLA 1.4.1.- CLASIFICACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOSN SEGÚN SU VISCOCIDAD DINAMICA A 60° C

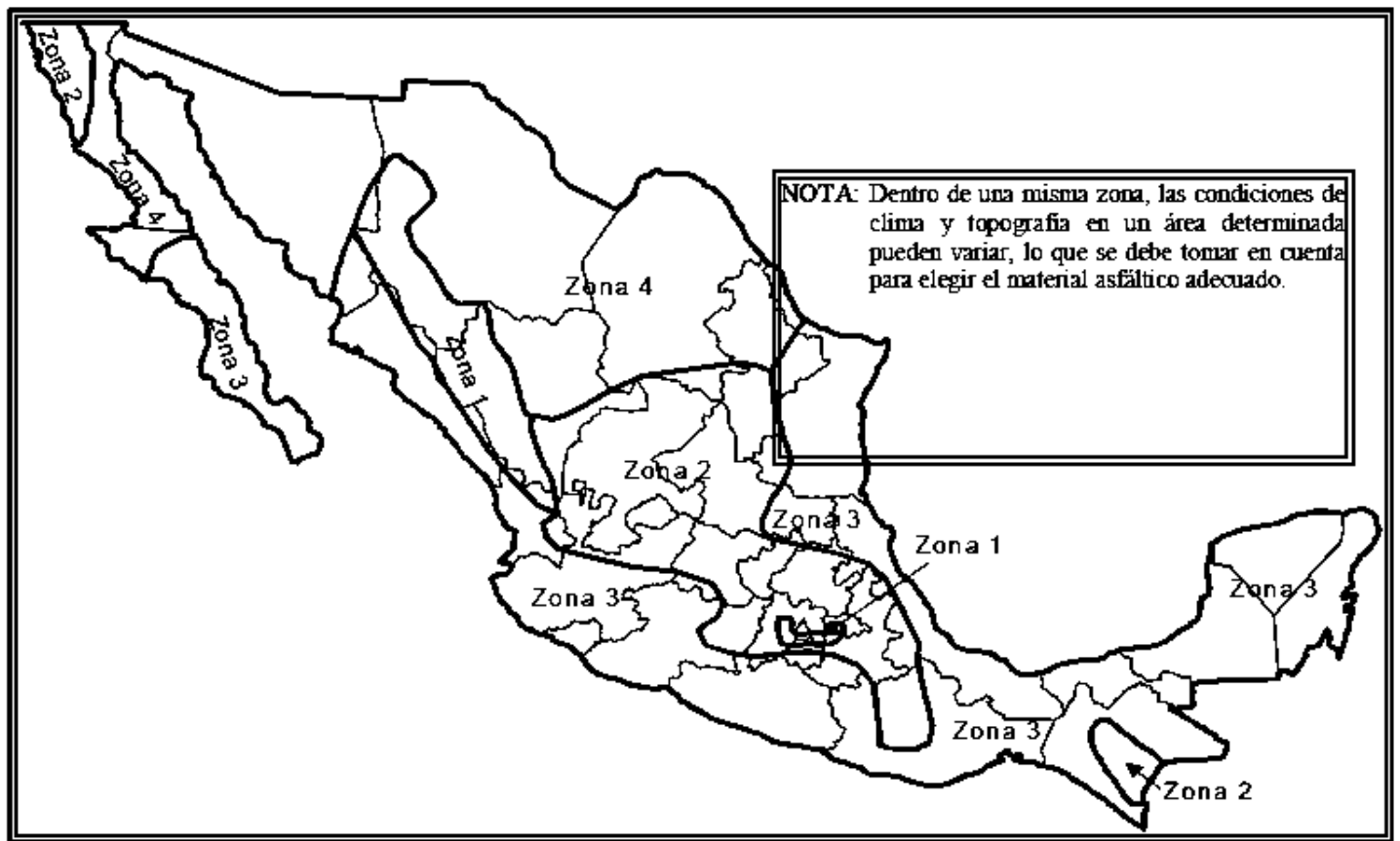


Ilustración 1.4.1 Regiones Geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60°C

1.4.2 REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS.

Los cementos asfálticos deben satisfacer los requisitos de calidad que se indican en la tabla 3 de esta norma.

Características	CLASIFICACIÓN			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento asfáltico original:				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa-s (P ^{II})	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm²/s, mínimo (1 mm²/s = 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58

TABLA 1.4.2 REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR SU VISCOSIDAD DINAMICA A 60° C

CAPITULO 2.- ASFALTO MODIFICADO.

Como se mencionó anteriormente, los productos asfálticos se han visto afectados por una disminución en su calidad. Además, en respuesta a la cada vez mayor necesidad de contar con productos que tengan un mejor desempeño bajo la acción del tránsito vehicular y de los distintos factores ambientales, se ha desarrollado procesos y fórmulas que permiten la fabricación de asfaltos de alto rendimiento, esto se logró mediante la modificación de los asfaltos.

La construcción de pavimentos flexibles está limitada a tres tipos no convencionales de asfaltos:

2.1.- ASFALTOS MODIFICADOS:

Un asfalto modificado, como lo indica su nombre, es un asfalto al que se le adiciona un agente que modifica sus características iniciales, las cuales pueden ser entre otras, la viscosidad, dureza, elasticidad, etc. con lo que se logra facultar al concreto asfáltico con características necesarias para resistir los esfuerzos, los agentes climáticos, y las condiciones de trabajo que propician su desgaste, el cual puede ser prematuro. Más adelante se especificarán las características que se modifican del asfalto y el objetivo que se persigue con esto. Los agentes modificadores que se emplean son polímeros, látex y hule molido.

2.2.- ASFALTOS CON ADITIVOS:

Los aditivos para asfaltos son agentes modificadores; tienen las mismas funciones que los modificadores, por lo tanto, es equivalente el nombrar aditivo a modificador, como nos referiremos indiferentemente en lo que continúan. Aunque un asfalto modificado se diferencia de un asfalto con aditivo, por el momento en el que se adiciona cualquiera de estos a la mezcla. **Un asfalto modificado es aquel en el que el modificador se agregó al asfalto previo a realizar la mezcla, mientras que un aditivo puede adicionarse de esta forma o bien en el mismo momento de realizarla.** En este caso los aditivos son fibras, aditivos líquidos químicos y el óxido de cal.

2.3.- ASFALTOS ESPECIALES

Estos son asfaltos que se obtienen mediante un proceso de refinación especial. El uso de estos asfaltos es aún más reducido que el uso de agentes modificadores, los asfaltos especiales que se producen son los asfaltos duros, asfaltos pigmentados y el asfalto multigrado.

Es importante remarcar la importancia de conceptualizar, por agente modificador, a todo aquel producto que se adicione al asfalto para modificar sus propiedades o su costo; desde este punto de vista, el término aditivo es equivalente al término modificador.

Como ya se hizo mención, en nuestro país, debido a diversos factores, no se ha desarrollado de forma importante el uso de los asfaltos modificados en la construcción de vías de comunicación, y aunque el uso de estos va en aumento no se compara con el uso tradicional del asfalto común. En el año de 1997 se realizó un estudio sobre el empleo de asfaltos modificados, obteniéndose los resultados que se muestran en la ILUSTRACIÓN 2.

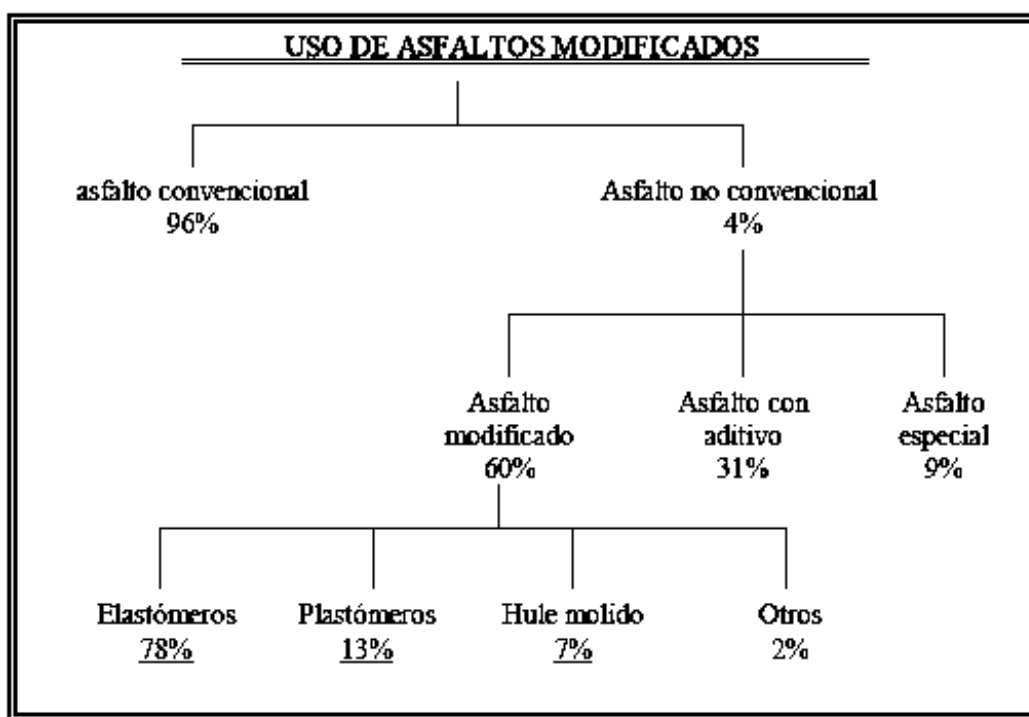


Ilustración 2.: Uso de los modificadores de asfalto

CAPITULO 3.- RAZONES PARA USAR LA MODIFICADORES DE ASFALTOS.

3.1 DEFORMACIÓN DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS.

Una de las grandes diferencias entre una carpeta rígida, carpetas de concreto hidráulico, y una carpeta flexible, es la forma en que cada una de ellas absorbe y transmite las cargas a las capas subyacentes del pavimento. Pues es sabido que una carpeta rígida absorbe las cargas de manera distribuida, debido a su carácter de material rígido, propiedad con la que no cuenta una carpeta de asfalto, pues debido a su naturaleza, una carpeta asfáltica recibe la carga de forma directa, se deforma y la transmite en forma distribuida a la capa inferior. En la ILUSTRACIÓN 3.1.1 se muestra, de forma esquemática, del lado izquierdo la deformación que presenta una carpeta asfáltica, mientras que en el lado derecho la carpeta rígida no presenta deformación.

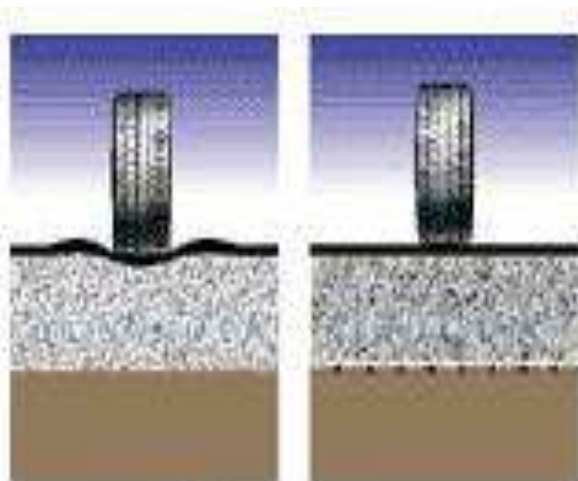


Ilustración 3.1.1 Deformación de las carpetas asfálticas

Esta característica de las carpetas asfálticas es un gran inconveniente, la deformación de la carpeta asfáltica está en función de la zona en que se esté localizada, específicamente del clima o de la temperatura ambiental; de la rigidez de la misma carpeta; del tipo de tránsito que circule por el camino, pues obviamente las cargas mayores producen una deformación proporcional a ellas; y el tiempo de acción de estas cargas, en los sitios donde se presenta un tráfico lento, o bien en estacionamientos, las cargas actúan por tiempos más prolongados que en los que se tiene una circulación fluida.

El problema de las deformaciones es significativo cuando éstas llegan a ser permanentes, transmitidas a las capas inferiores del pavimento. ILUSTRACIÓN 3.1.2, pues con esto bien se puede dar inicio a la desintegración de la carpeta. Evitar la deformación permanente representa un gran dilema, pues al tratar de evitarlas por medio de una carpeta asfáltica más rígida se corre el riesgo que también sea demasiado frágil; por otra parte, una carpeta demasiado flexible acelera la presencia de deformaciones permanentes, además de que se presenta el riesgo de que los agregados de la capa inferior perforen a la carpeta. En forma

sencilla, si el asfalto no tiene la flexibilidad suficiente para regresar a su posición original después de aplicada la carga, o si es demasiado rígido este fenómeno ocasionará fracturas permanentes en la superficie de rodamiento.

La deformación permanente se produce en el pavimento flexible cuando se acumula deformación plástica, con cargas repetidas a altas temperaturas comprendidas entre 40 °C y 65 °C (mayores al punto de reblandecimiento del asfalto), como se mencionó anteriormente es favorecida por cargas altas y periodos lentos o prolongados de su aplicación. Los factores que favorecen a la aparición de la deformación permanente son las altas presiones de inflado de las llantas de los vehículos, aunque esto no depende del proyectista: un alto o bajo contenido de asfalto en la mezcla; el uso de agregados de forma alargada y redonda, además de la afinidad del pétreo a la humedad.

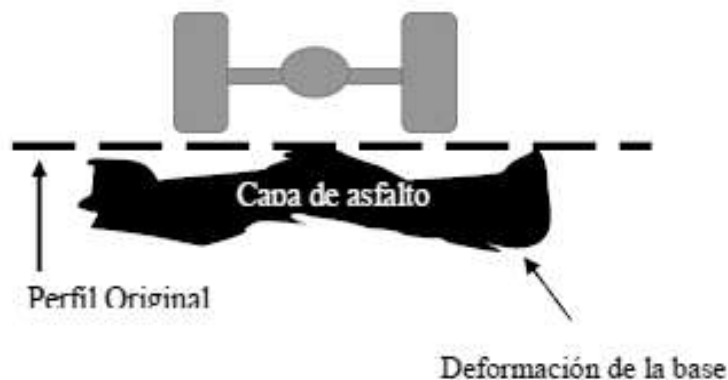


Ilustración 3.1.2 Deformación permanente de un pavimento asfáltico

Otro fenómeno que se presenta, similar a la deformación permanente es el de agrietamiento por baja temperatura, este se presenta cuando el asfalto es demasiado rígido, debido a que presenta una elasticidad demasiado baja, lo que propicia que el asfalto se vea sujetado a esfuerzos de tensión antes de recibir alguna carga.

3.2 FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Se tiene perfectamente bien establecido, que las vías terrestres se proyectan y se construyen, para que estén en servicio por un determinado número de años como mínimo, a este periodo se le conoce como horizonte de proyecto o vida útil de la obra. Al concluir este periodo de tiempo, los caminos se abandonan, se rescatan o se reconstruyen con objeto de aumentar su servicio por más tiempo, que es en general lo que sucede.

Al estar en operación, una obra se deteriora gradualmente y presenta diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros pueden ser pequeños en un principio; pero empeoran con el transcurso del tiempo hasta ser considerables acelerando la falla de la vía; por esto, una obra requiere de mantenimiento o conservación, para que de esta forma asegurar, por lo menos, su vida útil de proyecto y proporcionar un servicio adecuado.

El deterioro se observa y se califica con un valor del 1 al 5, llamado índice de servicio; cuando una obra comienza a funcionar, recién construida, debe tener una calificación de 4.0 a 4.5, la cual disminuye mediante pasa el tiempo.

Cuando un camino de primer orden o autopista llega a un índice de servicio de 2.5 o 2, uno de segundo orden, el tránsito tiene varios problemas, y la comodidad del viaje llega al punto mínimo. En este momento, la obra alcanza su falla funcional si el camino sigue en servicio, logra la falla estructural y prácticamente ya no puede haber tránsito. Debido a un mal diseño de la estructura en cuanto a los materiales o sus espesores, o a que no se pronosticó el tránsito en forma adecuada. Una obra puede llegar a la falla estructural al estar prácticamente destruida antes de terminar la vida útil del proyecto, sin que quizás haya habido falla funcional, pues el deterioro habría sido rápido.

Para que una obra deteriorada no llegue con el tiempo a la falla estructural, es necesario rehabilitar la vía cuando alcance la falla funcional y su calificación sea de 2 para los caminos secundarios o de 2.5 para los de primer orden y especiales.

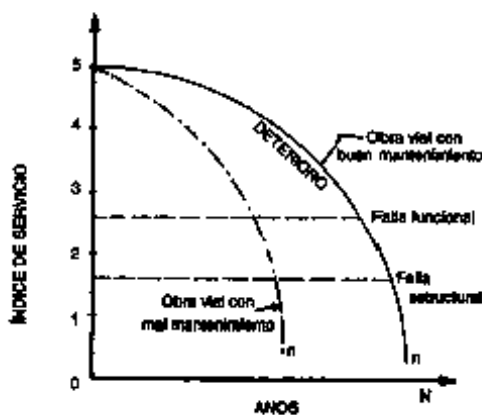


Ilustración 3.2.1 Esquema que representa el deterioro de las obras viales a través del tiempo

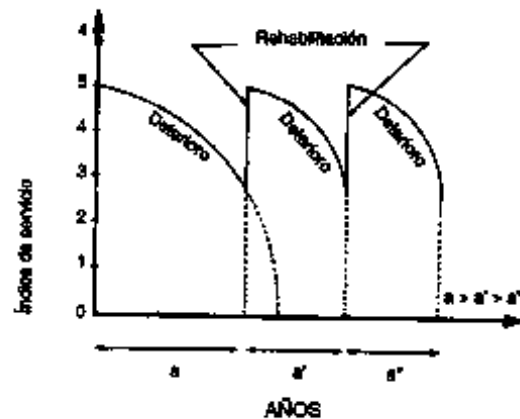


Ilustración 3.2.2 Esquema que muestra el efecto de la rehabilitación en la vida del asfalto

Cuando se registra la historia de un camino y se obtienen año con año los índices de servicio, se traza una curva como la mostrada en la **ilustración 3.2.1**, con la cual se conoce aproximadamente el tiempo en que la vía llegara a su falla estructural. Pero se pueden hacer diferentes rehabilitaciones, para aumentar su vida útil; claro, después de varios trabajos de este tipo, habrá un momento en el que la estructura este tan dañada, que necesite una reconstrucción.

Lo anterior se muestra en la **ilustración 3.2.1**, donde se indica que después de entrar en servicio, una obra se va deteriorando hasta llegar en n años a su falla estructura; sin embargo, si cuando se tiene una calificación de 2.5 se rehabilita, se aumenta su vida útil en n años más. Este ciclo se puede repetir en varias ocasiones; sin embargo, después de cuatro o cinco rehabilitaciones, el daño causado a la obra es tal que es conveniente una reconstrucción pues la eficacia de la rehabilitación es cada vez menor, como se ve en la **ilustración 3.2.2**.

Para calificar un camino se utiliza el método visual, donde se toma en cuenta la cantidad de grietas que hay en la superficie de rodamiento; el número de baches, cajetes o calaveras; y la magnitud de las deformaciones. A continuación, se hace una descripción de los diferentes tipos de fallas que se presentan en los pavimentos flexibles y sus causas probables:

3.2.1 Roderas:

Son deformaciones longitudinales que se presentan en la superficie de rodamiento, en la zona de mayor incidencia de las ruedas de los vehículos: Si son menores a 1 cm. se debe a una deformación de la carpeta asfáltica; pero si son mayores se deben a una insuficiencia en la base o a que esta no es de la calidad adecuada. **ILUSTRACIÓN 3.2.1.**

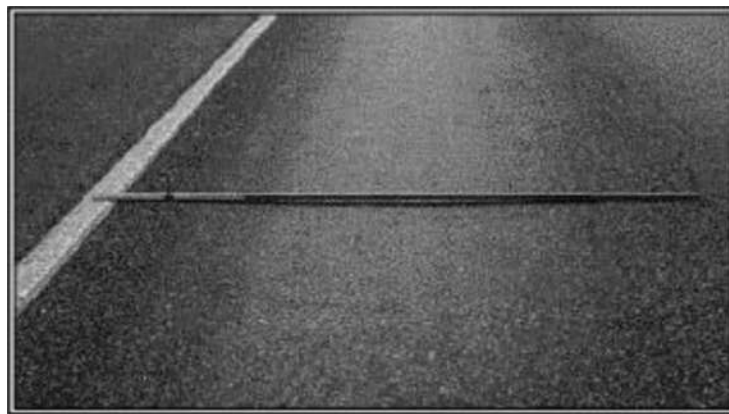


Ilustración 3.2.1: Roderas

3.2.2 Superficie de rodamiento usa:

Este defecto se debe a un exceso de asfalto en el riego de liga, en la mezcla asfáltica o en el riego de sello. El exceso de asfalto por acción del tránsito se bombea hacia la superficie de rodamiento, provocando así su aislamiento, pero aún de esta manera se puede tener una capa de asfalto de 1 o 2 mm en forma de nata, esto es muy peligroso, pues los vehículos derrapan con facilidad.

3.2.3 Pequeñas deformaciones transversales rítmicas:

Esta falla, que es muy molesta para el tránsito, se presenta cuando la base no está bien cementada o cuando se construyó en definitiva con materiales inertes. Se debe a las deformaciones de esta capa, producida por la vibración y los esfuerzos tangenciales que provocan los vehículos y que se refleja en la superficie de rodamiento; en caso de que está sea de concreto asfáltico, se agrieta en forma rápida.

3.2.4 Desintegración de la carpeta:

Se presenta en carpetas asfálticas antiguas por oxidación del asfalto, o en carpetas relativamente recientes con escaso contenido de asfalto; se da también en carpetas elaboradas con material pétreo deleznable. ILUSTRACIÓN 3.2.4.



Ilustración 3.2.4: Desintegración de la carpeta

3.2.5 Grietas longitudinales a la orilla de la carpeta:

Este problema se presenta en las terracerías, ya sea por contracciones que ocurran en esta o por estar construidas sobre terrenos blandos; también puede deberse a que los automóviles se acercan demasiado a la orilla cuando la carpeta asfáltica se extiende sobre toda la corona, en cuyo caso no existe un confinamiento lateral adecuado. De igual manera, estas grietas aparecen cuando las ampliaciones no se realizan en forma adecuada. Pues se utilizan materiales sin compactación o sin anclaje adecuado; con el tiempo, en ocasiones corto, estas grietas surgen en la superficie de rodamiento y se propagan hacia el centro.

3.2.6 Presentación de calaveras:

Las calaveras son huecos que se presentan en la superficie de rodamiento, llegando a ser muy numerosos; su tamaño no es mayor de 15 cm. Se deben a una calidad insuficiente en la base, a carpetas con un contenido de asfalto menor que el óptimo, o por colocar una carpeta nueva sobre otra agrietada o con calaveras, lo que se refleja en la carpeta nueva. ILUSTRACIÓN 11.



Ilustración 3.2.6: Presentación de calaveras

3.2.7 Baches:

Se deben a la desintegración de las carpetas y de la base por la mala calidad de los materiales inferiores, incluidas las terracerías con alto contenido de agua. Ocurren también por la presencia de grietas y calaveras que no se trataron en forma adecuada y oportuna. ILUSTRACIÓN 12



Ilustración 3.2.7: Baches

3.2.8 Agrietamientos en forma de piel de cocodrilo o mapeo:

Se debe a una carpeta de mala calidad o colocada sobre una base con rebote: en caso de que la carpeta se haya elaborado con concreto asfáltico, esta falla resulta de que la base no se rigidizó correctamente. Así mismo aparece en carpetas con asfalto oxidado. ILUSTRACIÓN 13

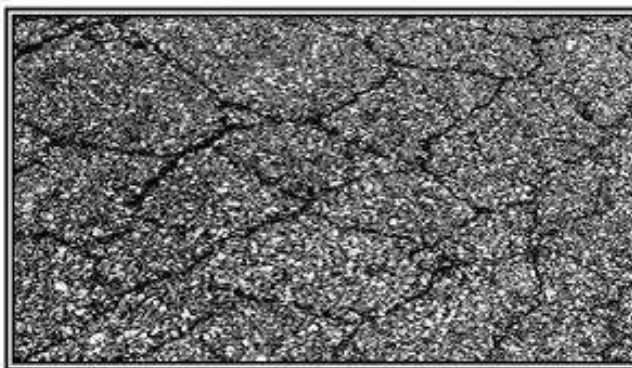


Ilustración 3.2.8: Baches

3.2.9 Corrimiento de la carpeta asfáltica:

Ocurre cuando la mezcla es de baja estabilidad, ya sea por usarse exceso de asfalto o por usarse un asfalto blando en zonas de alta temperatura: se presenta también en el carril de subida en tramos de pendiente marcada y en curvas, donde los esfuerzos de tracción de los vehículos son muy grandes.

3.2.10 Descarnado de las carpetas:

Resulta de usar aditivos inadecuados en las mezclas y se presentan en zonas de grandes esfuerzos horizontales provocados por el tránsito, como en las zonas de arranque y frenado en avenidas de ciudades.

3.2.11 Deformaciones de las superficies de rodamiento del arden de 5 cm:

Son ocasionados por la mala calidad de la base o por la insuficiencia en el espesor del pavimento.

3.2.12 Deformaciones fuertes en la superficie de rodamiento:

Se debe a un espesor insuficiente o a la mala calidad de los materiales del pavimento y de las terracerías, a menudo con una notable falla de la compactación desde la construcción. Casi siempre hay una gran cantidad de agua por falta de cunetas, sub drenaje u otras obras para controlar el líquido. Cuando el transito aumenta en forma considerable, las obras señaladas para un volumen determinado de tránsito y que no se rehabilitan en forma oportuna y adecuada, presentan también este problema.

3.2.13 Deformaciones de la corona junto a las cunetas:

Las provoca un exceso de humedad en el terreno natural cuando no existen cunetas revestidas y a falta o mal funcionamiento del sub drenaje.

3.3 DETERMINACIÓN DE LOS EFECTOS NOCIVOS DEL AGUA.

Los materiales que están en contacto con el asfalto, como lo es el caso de los que se emplean en la construcción de carreteras, deben tener buena adherencia, sobre todo si forman parte de carpetas asfálticas.

La adherencia entre los agregados y el asfalto, los componentes de una mezcla asfáltica, se ve muy afectada cuando se tiene presencia de agua, así también cuando el agregado presenta una cobertura de polvo en el área de contacto con el asfalto, **ilustración 3.3.1** El asfalto es hidrofóbico, es decir, no presenta afinidad con en agua, mientras que por otra parte, la mayoría de los agregados tienen un comportamiento opuesto, en lo referente al agua.

De esta forma, se deduce que los daños que causa el agua a una mezcla asfáltica inician cuando ésta interfiere con la adherencia entre los dos elementos que conforman a la mezcla, asfalto y agregados. La adherencia es un fenómeno de superficie, el cual, depende en primera instancia del contacto íntimo entre el asfalto y el agregado, de la capacidad humectante del asfalto, de la limpieza de la superficie del agregado y de la ausencia de humedad, que presentan una barrera física en ambos casos, **ilustración 3.3.1.** El poder de humectación

depende de la viscosidad y de la tensión superficial. Por otra parte, el asfalto, debido a su naturaleza acida, presenta una carga superficial negativa por lo que presenta una buena afinidad sobre los materiales con carga superficial positiva.

De esta forma, podemos decir que los agregados calcáreos aportarían una buena adhesión con el asfalto pues presentan carga superficial positiva, desafortunadamente tienen tendencia a pulirse; los materiales silíceos no presentan afinidad con el asfalto debido a su carga superficial negativa. **Ilustración 3.3.2.**

Se reconocen dos tipos de adherencia asfalto - agregado, la pasiva y la activa. La adherencia pasiva es la resistencia del ligante, en este caso el asfalto, a ser removido de la superficie del pétreo por el agua o el tráfico; la adherencia activa es la capacidad del asfalto para mojar el pétreo durante el proceso de elaboración de la mezcla.

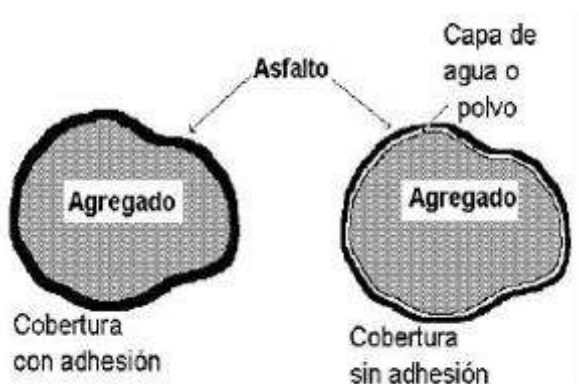


Ilustración: 3.3.1 Presencia de agua en el agregado

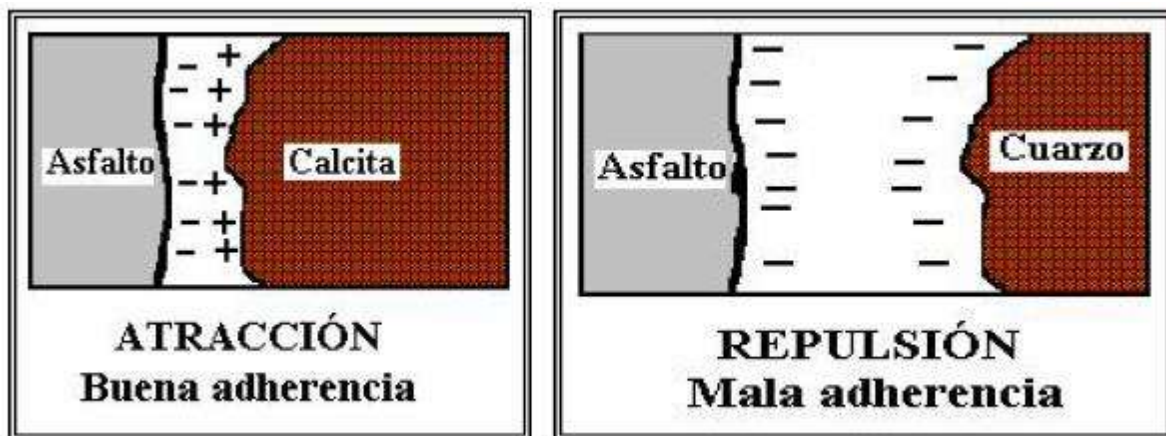


Ilustración: 3.3.2 Afinidad entre el asfalto y agregados

Es importante entender las consecuencias que atraen las propiedades del asfalto. Se mencionó anteriormente que el asfalto presenta un carácter hidrofóbico, mientras que la mayoría de los agregados presentan un carácter hidrofílico, esto conlleva a que los agregados tengan tendencia de atracción del agua, mientras que el asfalto la rechaza, además hay que

mencionar que el asfalto presenta una tensión superficial menor que el agua y viscosidad mayor, **ilustración 3.3.2**, lo anterior provoca que se forme una capa de agua que interfiera en la adhesión entre estos dos elementos, lo que produce deterioros significativos de la carpeta debidos al desprendimiento.

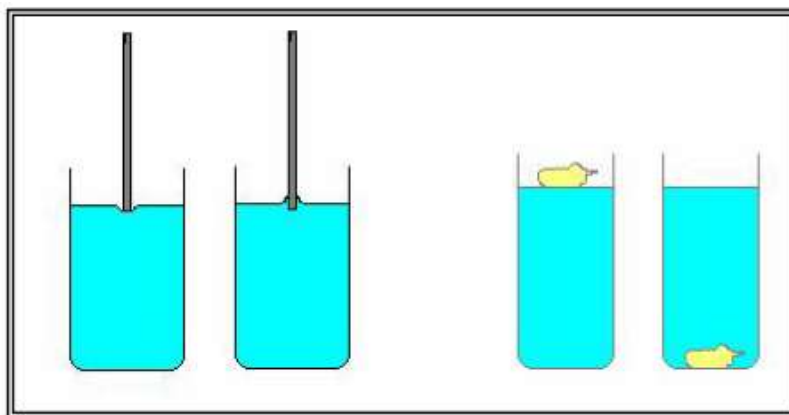


Ilustración: 3.3.3 Diferencia de viscosidad entre el agua y el asfalto

Para determinar los efectos nocivos del agua se recomienda, ampliamente, el uso de pruebas ya establecidas, como lo son el método de desprendimiento por fricción después de la inmersión.

3.3.1 Método de desprendimiento por fricción:

En esta prueba de desprendimiento por fricción se colocan 50g de mezcla asfáltica en un frasco y se deja reposar por 24 horas, al término de las cuales se sujeta a tres periodos de agitado de 5 minutos cada uno. Después, se saca la mezcla del frasco y se observa el porcentaje de desprendimiento del asfalto que sufrió el material pétreo.

El agitado puede ser manual o mecánico. En el primer caso, el tiempo total es de 15 minutos; en el segundo es de tres horas (tres periodos de una hora). Si el porcentaje de desprendimiento es de 25% o menor, se considera que el material tiene adherencia aceptable.

3.3.2 Método de estabilidad retenida después de la inmersión:

Para realizar esta prueba, se coloca una porción de mezcla asfáltica en un molde metálico de 10 cm. de diámetro y se le da una compactación de tipo estático bajo una presión de 40 kg/cm². De igual manera y con la misma mezcla asfáltica, se elabora otro espécimen de 12 cm $\pm$ 0.5 cm. Uno de ellos se deja reposar en un medio ventilado con humedad controlada y el otro se sumerge en agua durante un periodo mínimo de tres días. Se recomienda que a la primera muestra se le dé un tiempo de reposo de 14 días, mientras que a la muestra sumergida se le asigna un periodo de 7 días. A cabo de este periodo de tiempo, ambos especímenes se

llevan a la ruptura por medio de compresión sin confinar y la pérdida de estabilidad se calcula de la siguiente forma:

$$P_e = \frac{R_{ss} - R_{sat}}{R_{ss}} 100$$

Donde:

P_e = Pérdida de estabilidad por inmersión en agua en porcentaje

R_{ss} = Resistencia del espécimen sin saturar, en kg/cm^2

R_{sat} = Resistencia del espécimen saturado, en kg/cm^2

Para el caso tradicional en el que la muestra se mantiene sumergida durante solo tres días se considera que es aceptable una pérdida de estabilidad del 25%. En el caso de los 14 días se acepta una pérdida de estabilidad hasta del 45%.

3.4 DESPRENDIMIENTO.

La entrada de humedad a una carpeta puede darse por la parte inferior, cuando llega la humedad por capilaridad. El agua al subir va desplazando el asfalto de la superficie del agregado, disminuyendo la capacidad de soporte y con la acción del tráfico se producen fisuras y posteriormente se disgrega el pavimento. En la superficie, el agua es bombeada por el paso de los vehículos hacia los vacíos dando inicio así el proceso de desprendimiento, comenzando con los finos y posteriormente con los gruesos.

De una forma más simple se puede explicar la desintegración de las mezclas asfálticas, el agua, sea cual sea su procedencia, disminuye en forma considerable la adherencia que existe entre el asfalto y los agregados, una vez afectada la unión entre los dos elementos, solo basta la acción mecánica que ejercen los automóviles sobre la superficie de rodamientos para dar paso a la desintegración de la carpeta.

En México las pruebas de adherencia más comunes, para determinar los efectos del agua en las mezclas asfálticas, son: **la prueba de desprendimiento por fricción y prueba de pérdida de estabilidad por inmersión en agua** descrita brevemente en el párrafo anterior.

Para contrarrestar estos inconvenientes que se presentan en los pavimentos se hace el uso de los modificadores de asfalto, los cuales de manera general actúan de la siguiente manera:

- ❖ Con el uso de los modificadores se puede hacer uso de cemento asfáltico de baja calidad, o de calidad insuficiente.
- ❖ Mejoran el comportamiento colectivo entre el asfalto y el agregado.
- ❖ Mejoran la resistencia a la fatiga debido a la deformación permanente.
- ❖ El desempeño a cambios de temperaturas se ve mejorado.
- ❖ Mejoran el comportamiento del pavimento contra el desprendimiento.
- ❖ Aumenta la resistencia contra los efectos del agua.
- ❖ Se logran carpetas de menor espesor.
- ❖ Reducen significativamente los costos de mantenimiento.

CAPITULO 4.- CLASIFICACIÓN DE AGENTES MODIFICADORES DE ACUERDO A LA PROPIEDAD QUE MANIPULAN.

4.1 MODIFICADORES DE REOLOGÍA.

Los modificadores de reología están constituidos por un grupo de aditivos constituidos por polímeros, El término "POLÍMERO" se refiere a una molécula larga creada por una reacción química de muchas (poli) pequeñas moléculas (monómeros), que una con otra forman largas cadenas. Las propiedades físicas de un polímero se determinan por la secuencia y la estructura química de los monómeros que lo conforman. En la siguiente unidad se definirán claramente los agentes modificadores, dando los puntos importantes para considerar su uso.

Es muy importante aclarar los motivos por los que es importante entender el término reología. La reología es la rama de la mecánica que se encarga del estudio de las causas del comportamiento de los fluidos no Newtonianos, es decir aquellos que presentan una viscosidad elevada, más específicamente de los esfuerzos que producen el flujo de estos materiales. En la actualidad, se realizan estudios arduos para comprender las causas que producen el comportamiento hidráulico de estos fluidos, es de gran interés científico y tecnológico incrementar el conocimiento respecto a este tema.

Referente al tema que se trata, es suficiente saber que las características reológica del asfalto influyen en su viscosidad, elasticidad, ductilidad y adherencia con el agregado pétreo.

4.2 ADITIVOS ENTENDEDORES (AZUFRE).

Los aditivos entendedores tienen como objetivo el disminuir la cantidad de asfalto a emplearse en la mezcla asfáltica. Estos aditivos tendrán que ser más económicos que el asfalto además de ser compatible con el mismo y no afectar negativamente las propiedades del asfalto. Estos productos también pueden mejorar el asfalto.

Los aditivos entendedores presentan mayores desventajas que ventajas al adicionarlo a la mezcla asfáltica, se emplean en un porcentaje del 5% al 30% del asfalto son resistentes al agua y a los combustibles, además aumentan la penetración del asfalto, sin embargo, son susceptibles al envejecimiento, disminuyen la ductilidad, el punto de reblandecimiento y producen contaminación por emisiones en la producción de las mezclas. El material que se emplea para este propósito es el azufre.

4.3 ADITIVOS ENDURECEDORES DEL ASFALTO.

Actúan como oxidantes químicos, es decir, promueven la oxidación del asfalto. En este caso el material que se emplea como agente modificador son las **asfaltitas**, las cuales son asfaltos

naturales con un alto contenido de **asfaltenos**, el cual está comprendido entre el 60% y el 70%. Las asfaltitas son solubles en el asfalto y se dosifican en este del 5% al 15%.

Las propiedades del asfalto que se manipulan de esta forma son la viscosidad, la cual se aumenta, también se aumenta el punto de reblandecimiento, y disminuye la penetración. Cabe mencionar que de esta forma se aumenta la estabilidad de las mezclas.

4.4 ADITIVOS ABLANDADORES DEL ASFALTO.

Estos aditivos aumentan la penetración de los asfaltos de forma duradera en el tiempo, mejoran algunas características del asfalto y permiten adecuar a los asfaltos a las especificaciones requeridas para algunas aplicaciones determinadas. Es conveniente prestar atención a la ductilidad del asfalto, pues a altas temperaturas una baja ductilidad favorece de forma considerable el inicio de agrietamiento de la carpeta asfáltica, de igual modo cuando las cargas que éste último absorbe son mayores que las previstas. En este caso el uso del **látex natural** permite alcanzar estos requerimientos.

4.5 ADITIVOS REJUVENECEDORES DEL ASFALTO.

Un aditivo rejuvenecedor puede reestablecer o mejorar las características originales de un asfalto que ha llegado al final de su vida útil, recupera la ductilidad y las características de trabajo a bajas temperaturas. Son productos estables que permiten que los asfaltos envejecidos vuelvan a cumplir las especificaciones de diseño, además se emplean en trabajos de reciclado. Los polímeros del tipo EVA y SBS, entre otros, se utilizan con el fin de rejuvenecer al asfalto.

4.6 REJUVENECEDORES EN RECICLADO.

Estos aditivos se dosifican en la mezcla asfáltica a reciclar, solo o con asfalto virgen. La baja volatilidad de estos aditivos minimiza la formación de humos. Su uso en altos contenidos en mezclas a reciclar conlleva a considerables ahorros.

Los aditivos rejuvenecedores en reciclado también se pueden agregar en frío emulsificador solo o con asfalto de aporte dependiendo del diseño.

4.7 REJUVENECEDORES EN ASFALTOS MODIFICADOS.

Mejoran la resistencia al envejecimiento acelerado, ayudan a mejorar la compatibilidad entre el asfalto y el polímero. Amplían la gama de asfaltos a emplear en la fabricación de

modificados. Se emplea como auxiliar en la producción de asfaltos modificados con hule de llanta. En cada caso es necesario de un estudio previo.

4.8 FIBRAS (CELULOSAS, ASBESTOS, POLIÉSTER, POLIPROPILENO).

Las fibras cortas, (< 1 mm), permiten incrementar la dotación de asfalto en una mezcla sin que este emigre. Mejora ligeramente el comportamiento mecánico de las mezclas, existe una mejoría en el incremento de la dotación de asfalto. Celulosa y asbestos.

En el caso de las fibras largas, (4 - 12 mm), Además de los cambios para las fibras cortas mejoran considerablemente la resistencia a la tensión de las mezclas. Poliéster, polipropileno.

4.9 ADITIVOS PARA MEJORAR LA ADHERENCIA (ANTISTRIPPING O DESINTEGRACIÓN).

Estos elementos promueven la cohesión entre el asfalto y en agregado, lo cual resulta sumamente conveniente en lo que se refiere a la vida útil de una carpeta asfáltica, pues, aunque se aumenta el costo de los materiales, se obtiene un ahorro importante en mantenimiento y conservación de la misma. El uso de estos aditivos para asfalto no es común en nuestro país, esto a causa de la inexistencia de empresas instaladas en nuestro territorio que proporcionen este servicio, o bien de la poca difusión que se tiene de su existencia. En este caso se hace uso del óxido de calcio hidratado, "CAL", además de agentes químicos de los que se hablara más adelante

5.1 POLÍMEROS

Ya se mencionó que un polímero es una molécula larga creada por una reacción química de muchas pequeñas moléculas, que una con otra forman largas cadenas. El primer polímero conocido por el hombre, y al cual se le dio un uso fue el látex natural, conocido como hule, (del náhuatl hollín que significa movimiento), producto del sangrado del árbol perteneciente al género de las euforbiáceas conocido como ulcuahuitl o árbol del hule (Castilloa Elástica Cervica). Posteriormente de iniciado el interés en el novedoso material, se dio un auge en la investigación de éste, pues, aunque tenía propiedades singulares presentaba un rápido deterioro por el incremento de la temperatura. Después del descubrimiento del proceso de vulcanización, con lo que se logra la obtención del primer polímero termofijo, se presenta una carrera científica de intereses militares para crear polímeros sintéticos, lo que a la fecha ha traído un gran número de tipos de estos materiales, pudiendo enlistar en una muy amplia lista de éstos. En nuestro caso, obviamente, solo hablaremos de aquellos que tienen utilidad en la modificación de los asfaltos.

A pesar de que los polímeros pueden formularse de tal manera que resulten con cualquier propiedad única, aquellos que se utilizan en la modificación de asfaltos se pueden agrupar en dos categorías principales: **PLASTÓMEROS Y ELASTÓMEROS**:

Los **elastómeros** se pueden alargar, y por su elasticidad, recobran su forma. Dichos polímeros no añaden mucha resistencia al asfalto, si éste no se encuentra estirado; una vez estirado, adquiere una gran resistencia con la propiedad de recuperar totalmente su forma inicial cuando se liberan los esfuerzos aplicados. Algunos de los elastómeros utilizados para modificar asfaltos son: bloque de copolímeros estireno-butadieno-estireno o estireno butadieno (SBS - SB), bloque de copolímeros estireno-isopreno-estireno (SIS), látex ahulado de estireno-butadieno (SBR), látex de Policloropreno, y látex de hule natural. (El látex es una emulsión de gotas microscópicas de polímero suspendidas en agua).

Por otra parte., los plastómeros forman una red rígida tridimensional, estos polímeros dan mucha fuerza a temprana edad para resistir cargas pesadas, pero pueden fracturarse cuando son deformados, ya que son muy rígidos, provocando la fatiga acelerada del pavimento, si no se cuenta con una estructura adecuada. Los plastómeros más comunes son: el etil-vinilo-acetato (EVA), polietileno/polipropileno, y poliolefinas.

El ligante asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación, y asegurándose que es compatible con el asfalto base. En general, se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resistencia y flexibilidad al pavimento, mientras que los resultados con plastómeros generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez.

Los resultados obtenidos de un proceso de modificación de asfalto dependen altamente de la concentración, peso molecular, composición química y orientación molecular del polímero, así

como, de la fuente del crudo, del proceso de refinación y del grado del asfalto base que se utiliza.

La mayor diferencia cuando es modificado un asfalto con polímeros es su reología, o sus características de flujo, particularmente su susceptibilidad térmica. Por ejemplo, un AC-10 modificado con 3% de polímero SBS se convierte en un AC-20. Cuando un asfalto es modificado, la viscosidad a 60 °C cambia dramáticamente, pero las penetraciones tanto a 25 °C como a 4°C cambian tan solo pocos grados.

La modificación con polímeros causa cambios significativos en la relación esfuerzo - deformación, en la respuesta a la deformación plástica y en los parámetros de flujo tipo no-newtoniano. La capacidad de algunos polímeros para su recuperación elástica (la respuesta a la deformación) se mide monitoreando el flujo bajo la acción de una carga, y su recuperación elástica cuando la carga desaparece y añade durabilidad al asfalto. Se han desarrollado nuevas pruebas para medir estas propiedades; los cuales son más adecuados en algunos casos que los métodos convencionales (viscosidad absoluta o cinemática, punto de reblandecimiento, penetración, etc.), ya que caracterizan las propiedades físicas de los asfaltos modificados con polímeros a altas y bajas temperaturas.

Los tipos de polímeros son entre otros:

Copolímeros en block y otros termoplásticos:

Su característica es el contener bloques finales de estireno y bloques medios de butadieno para proporcionar "elasticidad". En este grupo están:

- SB (Estireno - Butadieno)
- SBS (Estireno - Butadieno - Estireno)
- SIS (Estireno - Isopreno -Estireno)
- SEBS (Estireno -Etileno - Butadieno - Estireno)
- LDPE (Polietileno baja densidad)
- ABS (Acrilonitrilo - Butadieno - Estireno)
- EVA (Etil -Vinil -Acetato)

Hules naturales y sintéticos:

- NR (Hule natural)
- PBD (Polibutadieno)
- PI (Poliisoprenos)
- PCB (latex

Otros:

- Hule de llanta
- Fibras (celulosa, poliéster, polipropileno, etc.)
- Agentes antistriping (poliaminas)

"Las propiedades del asfalto que se logran modificar son la viscosidad, ductilidad, resistencia al envejecimiento, susceptibilidad térmica y elasticidad. "Es notorio que en la lista anterior se ve la presencia de látex, hule de llanta, fibras y agentes antistriping, sin embargo, estas cuentan con características un tanto diferente a los demás polímeros y se hablara de ellos en secciones apartadas.

Cuando se añaden polímeros al asfalto, las propiedades del asfalto modificado dependen de dos aspectos:

1. El sistema de polímero utilizado.
2. La compatibilidad del polímero con el asfalto.

Sistema de polímero y Compatibilidad.

En el plan científico se puede admitir que compatible es sinónimo de miscible, lo que implica una mezcla monofásica. La inmiscibilidad se traduce en la aparición de una segunda fase. De esta forma se deduce que un polímero es compatible con el asfalto cuando la heterogeneidad de la mezcla no se puede apreciar por un simple examen visual.

En caso de no haber compatibilidad se daría una separación de fases que evitaría que el polímero transfiriera sus propiedades al asfalto. El tiempo que la mezcla debe permanecer sin separación de fases apreciable debe ser suficiente para que sea transportada y aplicada.

Si un polímero se añade a dos diferentes asfaltos, las propiedades físicas de los productos finales, pueden ser muy diferentes. Para mayor efectividad, el polímero debe crear una red continua de trabajo en el asfalto; y para que esto ocurra, la química del polímero y del asfalto necesita ser compatible; de forma que el sistema "asfalto polímero" desde el punto de vista microscópico es una mezcla heterogénea.

Algunos productores de asfalto polimerizado utilizan procesos especiales para lograr compatibilidad entre el polímero y el asfalto. Cuando la tecnología es apropiada, las propiedades del ligante pueden reducir el efecto de las roderas, el desprendimiento de pétreos, el agrietamiento térmico o fluencia en la mezcla, así como el incremento en la vida útil del pavimento, debido a una mayor estabilidad y resistencia a la fatiga.

RESULTADOS (LABORATORIO / CAMPO)

Las prácticas convencionales para manejo, almacenaje y construcción, pueden ser o no modificadas, dependiendo del sistema de polímero utilizado. Normalmente los asfaltos polimerizados requieren temperaturas elevadas para su manejo y construcción de la mezcla en caliente. La dureza de la mezcla en campo durante la construcción dependerá de la temperatura de mezclado, del tipo de polímero, de la concentración de polímero y del grado del asfalto. La compactación de la mezcla será el último indicador para el control térmico.

Los actuales métodos utilizados para determinar las temperaturas óptimas de compactación y mezclado, no corresponden con las propiedades de flujo de un asfalto modificado. Las temperaturas recomendadas y las prácticas de colocación deben corresponder con cada sistema en particular.

De esta forma el asfalto modificado se encuentra listo para su utilización y únicamente se requieren algunos cuidados especiales para asegurar que una mezcla asfáltica elaborada cumpla las expectativas de manejo y rendimiento. Al manejar el cemento asfáltico modificado es importante seguir buenas prácticas constructivas, como en el caso de cualquier asfalto, para que los cuidados generen la mejor calidad en la obra terminada y disminuyan atrasos que inciden en el costo final del trabajo.

En base a la tecnología se pueden producir un gran número de grados de asfalto modificado con polímero. Cada distinto grado de asfalto se formula para cumplir en condiciones locales, con requerimientos técnicos y especiales y con ciertas especificaciones particulares. De manera general se exponen los puntos más importantes sobre el manejo de los cementos asfálticos modificados.

Transporte y Almacenamiento

- Debido al proceso de fabricación, basado en una reacción química permanente, el asfalto modificado no presenta separación del polímero, permitiendo que su manejo sea sin complicaciones además que asegura un excelente rendimiento del producto una vez que es colocado.
- El asfalto modificado se encuentra listo para utilizarse en prácticamente cualquier planta de asfalto en caliente. Normalmente se entrega en planta a una temperatura entre los 155° C y 180° C. En función de la logística y requerimientos que se tengan para la producción de la mezcla asfáltica, puede transportarse en los auto-tanques usados para cemento asfáltico convencional.
- Para almacenar asfalto que ha sido modificado, no se requieren tanques especiales ni sistemas de agitación; sin embargo, es recomendable que los tanques se encuentren limpios, para no diluir el producto y perder alguna de sus propiedades de alto rendimiento.
- No obstante, de que no se requiere agitar el producto, para mantener la dispersión del polímero es recomendable recircular o no mantener en reposo el producto para evitar

el sobrecalentamiento del asfalto en alguna zona específica y para tener un aprovechamiento energético óptimo al distribuir de una mejor manera la temperatura.

- El asfalto modificado normalmente se mantiene a una temperatura que fluctúa entre los 150° C y 180° C al almacenarlo por periodos cortos de tiempo (2 a 3 días).

Si por alguna razón se tuviera que almacenar el asfalto por un periodo mayor a 3 días y menor a tres semanas, la temperatura deberá mantenerse entre los 125° C y 145° C, ya que al exponer al asfalto modificado a más de 150° C por periodos largos de tiempo puede provocar, bajo ciertas circunstancias, el rompimiento de la estructura del polímero, generando así la degradación del producto; además de que sería una operación muy costosa.

- Si por algún retraso o estrategia operativa es necesario almacenar el asfalto modificado por un periodo mayor a tres semanas, es recomendable mantener la temperatura del asfalto por debajo de los 135° C, o bien, no aplicar calor, lo que dependerá de la logística en particular y la capacidad de que se tenga para elevar la temperatura cuando se requiera.

Si un fuerte calentamiento es necesario, éste deberá realizarse de manera gradual, cuidando de no sobre-calentar el asfalto modificado. Un sistema de inducción de calor a base de aceite térmico es preferible a la de aplicación directa, y como se ha mencionado antes, recircular el material ayuda a una mejor distribución del calor.

- Estos métodos para elevar y mantener temperaturas son buenas prácticas de operación con cualquier material asfáltico.

Producción, Tendido y Compactado

- Durante el proceso de producción, se deberá tener especial cuidado en la temperatura de mezclado y el sistema de dosificación del cemento asfáltico, ya que al tener una mayor viscosidad puede variar la calibración de los equipos de suministro y medición.
- La temperatura típica de mezclado recomendada para el asfalto modificado, fluctúa entre 150° C y 180° C, lo que dependerá de las condiciones de cada obra en particular (temperaturas ambientales, distancia de acarreo, equipo de tendido, etc.) y la capacidad de la planta de asfalto.

El punto crítico para determinar las temperaturas de trabajo (mezclado y tendido) de una mezcla asfáltica, es la manejabilidad del concreto asfáltico durante el proceso de compactación, la cual debe fluctuar entre los 135° C y 155° C.

5.2 HULE MOLIDO.

Llantas de desecho

Las llantas para vehículos al término de su ciclo de vida útil, se convierten en un desecho no bio-degradable. Además, su forma física y su dispersión geográfica plantean un gran reto para su manejo y disposición final.

La eliminación de las llantas de desecho es un serio problema mundial. Debido al gran número de llantas de desecho generadas anualmente y su larga vida, las llantas tienen un problema substancial en su manejo como basura. Actualmente la mayoría de las llantas de desecho son apiladas o usadas como relleno en grandes extensiones de terreno, creando serias amenazas sanitarias y ambientales.

Un factor de reclamo mundial es la pureza del ambiente. Más de 100 años tirando llantas sin ningún tipo de control es uno de los problemas que están destruyendo los biosistemas en todo el orbe.

Los tiraderos de llantas han sido desde tiempo atrás, sujetos de grandes discusiones; aún antes de que hubiese las tecnologías modernas en la fabricación de llantas y el complejo y basto sistema de distribuidoras preocupadas por la ecología.

Aunque en realidad, la industria de la recuperación del hule de las llantas, empezó prácticamente en cuanto los primeros neumáticos de los primeros vehículos llegaron a su desgaste final y se desecharon. Cuando la fabricación de llantas se hizo más sofisticada con la incorporación de sintéticos y cinturones radiales de acero, el proceso de reutilizar el hule se hizo cada vez más difícil.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la solución más simple fue tirarlas en grandes extensiones de terrenos, utilizándose como rellenos o apiladas en grandes montañas. Se calcula que hoy en día existen más de diez mil millones de llantas en estas condiciones, en todo el mundo.

Al principio, estos tiraderos de llantas estaban permitidos por las autoridades en todo el mundo, pero los grandes desastres provocados por enormes incendios, así como ser un foco de infección y un factor importante para la proliferación de roedores y numerosas plagas que se alimentan de carroña, como son las ratas y mosquitos. Por otro lado, las llantas sueltan aceites y otros materiales tóxicos que se filtran en la tierra encontrando generalmente salida por los mantos acuíferos y por el drenaje contaminando corrientes de agua y pozos.

Además de lo anterior, es muy preocupante el renglón de salud, pues se ha comprobado que aproximadamente un millón de mosquitos se desarrollan, dentro de su ciclo de reproducción en condiciones óptimas, en el interior de una llanta que contenga agua estancada dentro de la misma. Las ratas y los mosquitos transmiten enfermedades altamente contagiosas y peligrosas como son: rabia, paludismo, Encefalitis de San Luis, Encefalitis de La Crosse, Hepatitis Viral (tipo B), Fiebre del Dengue, Fiebre Amarilla y Malaria, entre otras.

Así los tiraderos de llantas crecieron indiscriminadamente. Las llantas apiladas en grandes montañas, se convirtieron no solo en un problema ambiental, sino también en un problema político.

No se tiene una información real de la cantidad de llantas de desecho que existe actualmente en nuestro país. Se sabe, según estadísticas del Instituto Nacional de Ecología que anualmente se generan aproximadamente 8 millones de toneladas de residuos sólidos y que 240,000 toneladas corresponden a llantas y productos de hule.

Si se toma en cuenta el parque vehicular de acuerdo a censos de INEGI, en 1996 existían 14 millones de vehículos registrados, entre automóviles y camiones de pasajeros y de carga. Esto nos da un aproximado de 75 millones de llantas en servicio, y si consideramos la vida útil de ellas en 36 meses para automóvil y de 60 meses para camiones (por la "renovada" de éstas) tenemos una cantidad anual de llantas de desecho de aproximadamente 20 millones, que corresponden a 200,000 toneladas. Dato que coincide con la información del INE.

En nuestro país las llantas de desecho tienen los siguientes usos:

- Disposición en tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios.
- Disposición en patios y azoteas particulares.
- Uso como combustible en hornos ladrilleros y artículos de barro sin control en sus emisiones a la atmósfera.
- Uso como combustible alternativo en hornos cementeros autorizados y altamente controlados por la autoridad ecológica.

Al quemarse la llanta, el 100 % de sus componentes son cancerígenos.

- Uso como materia prima de una microindustria de producción de zapato, huarache y artículos de hule de muy rudimentaria técnica y forma sencilla, sin control alguno de sus recortes y desperdicios.
- Uso como muros de contención y ornato, principalmente en parques recreativos.
- Uso en zonas de granjas como bebederos para la cría de especies menores.
- Uso como medio amortiguador de impactos en maquinaria y vehículos automotores pesados.
- Uso en la navegación en muelles y en embarcaciones como elementos de protección de impactos.
- Uso como material de apoyo y seguridad en diversas actividades deportivas.

Y en una industria naciente que es el reciclado de llantas de desecho, para la obtención de hule molido, acero y fibras sintéticas. El hule molido se emplea principalmente para

asfaltos mejorados y una variedad de artículos de hule. Por ejemplo, las llantas nuevas contienen entre el 2% y el 5% de hule molido.

Actualmente el 80% de las llantas de desecho tiene como destino final los tiraderos y rellenos sanitarios.

Un consumidor impactante es la industria cementera que consume entre el 5% y el 15%.

Se espera que las empresas recicladoras de llantas de desecho absorban otro 25%. El crecimiento de estas empresas ya instaladas en el país y otras que se pudieran instalar, dependerá del consumo que haya del hule molido para emplearse principalmente en asfaltos modificados, que sería el principal consumidor de esta industria.

Esta industria ayudaría enormemente a darle un destino final ecológico a las llantas de desecho.

5.2.1 HULE MOLIDO

Existen dos principales procesos para la obtención de hule molido del reciclado de las llantas de desecho: El PROCESO MECÁNICO (ambiental) y el SISTEMA CRIOGÉNICO. En ambos casos se obtiene el hule molido del cribado requerido actualmente por los consumidores de asfaltos ahulados.

5.2.2 SISTEMA MECÁNICO (AMBIENTAL)

El proceso mecánico consiste primero en eliminar los cinturones de acero de así llantas de camión. Después de haber eliminado los cinturones de acero, la llanta es llevada a un equipo triturador donde se reduce la llanta a tamaños aproximados entre 25 y 40 centímetros cuadrados. Esta pedacería es llevada a tolvas instaladas en la entrada de los granuladores.

El granulador recibe la pedacería y la lleva a una serie de moliendas por medio de cuchillas que pulverizan el hule. Dentro de estos procesos, existen sistemas magnéticos que separan el acero y metal expulsándolo mediante un tubo vibratorio a los depósitos principales de recolección de acero. El hule pasa a una mesa vibratoria donde está instalado un sistema de vacío que elimina la fibra sintética que tiene la llanta.

Después de este paso, se transporta el hule a unas cribas que permiten seleccionar las medidas deseada de acuerdo a las necesidades de granulometría del mercado (normalmente son cuatro), para posteriormente depositar el hule molido en silos que permitirán el pesado y empaclado.

5.2.3 SISTEMA CRIOGÉNICO

El sistema criogénico consiste en llevar las llantas enteras a un depósito donde se hace pasar nitrógeno líquido para ser congelado el producto. Algunos productores las trituran, para aumentar el volumen del producto a congelar.

Posteriormente pasa a unos molinos donde se rompe la pedacería, pulverizando el producto, y ayudado por un sistema magnético se separa el acero y metal existente, y mediante un sistema de vacío, se separa la fibra sintética que tiene la llanta. Después es pasado a un sistema de cribas donde se separa por tamaños, para después pasar a unos silos donde se procede al embolsado y pesado.

'La ASTM-D-8-99 define al asfalto ahulado, como "una mezcla de cemento asfáltico y hule recuperado de llantas de desecho, con algunos aditivos en donde el componente de hule es como mínimo el 15% del peso volumétrico de la mezcla, que ha reaccionado con el cemento asfáltico caliente lo suficiente para lograr una dilatación e integración de las partículas de hule. Los mejores resultados se han obtenido utilizando un mínimo de 17% de hule reciclado de neumáticos, mezclado a temperaturas entre los 175°C y 200 °C para provocar la reacción.

5.2.4 INCORPORACIÓN DE HULE MOLIDO EN EL AGREGADO ANTES DE LA MEZCLA CON EL ASFALTO.

Actualmente la preferencia para incorporar hule molido de llantas de desecho a las mezclas asfálticas es por el procedimiento de vía húmeda siendo que la capacidad mayor de consumo de este hule es por vía seca. La cual consiste en incorporar el polvo de hule molido directamente al agregado antes de adicionar el cemento asfáltico.

Este proceso se evalúa en la Universidad Politécnica de Madrid como un proyecto en espera de resultados. Encontrándose factores benéficos como mejoras a la resistencia y deformaciones plásticas. Se tienen factores negativos como dificultad de compactación y baja resistencia a la acción del agua, que se atenúan y desaparecen con el tiempo, ya que se genera una digestión de hule modificando el asfalto, la cual se produce de modo natural durante el tiempo de que la mezcla asfáltica es trasladada de la planta a la obra, dando margen incluso a ser extendida y compactada hasta una temperatura aproximada de 10°C debajo de la temperatura de fabricación.

Los comportamientos de estas mezclas son la reducción de huecos conforme más fino es el polvo de hule molido, mismos que se abaten aún más al prolongarse el tiempo de digestión.

Por otro lado, a mayor tiempo de digestión aumenta la resistencia a la compresión siendo en la primera hora en la que se obtiene el mayor incremento a esta resistencia.

También los resultados que se obtienen en cuanto a la resistencia conservada tras inmersión en baño de agua durante 24 horas a 160°C se registran una importante variación con el tiempo de digestión. Por el contrario, una mezcla que no dispone de tiempo de digestión resulta perjudicial para su resistencia a la fatiga y reduce su módulo elástico, sin embargo, su módulo dinámico llega a duplicarse tras la digestión del hule.

Con respecto a las leyes de fatiga, estas se ven afectadas con el empleo de polvo de hule molido a menos de que se les dé una digestión de dos horas, ya que, de esta forma, se atenúan estas diferencias.

En conclusión, es necesario relacionar las siguientes variables para obtener una buena mezcla asfáltica con hule molido por el método de vía seca.

Tiempo de digestión disponible en función de las distancias de transporte

- Granulometría del hule a emplear (de malla 16 a malla 40)
- Contenido máximo de hule (entre 1% y 2% sobre el peso del agregado)

El asfalto ahulado tiene dos ventajas adicionales a otros asfaltos modificados: alta resistencia al desmoronamiento (si el hule proviene del reciclado de llantas de camión) y mayor viscosidad, el cual habilita al agregado a ser cubierto con una capa extra de asfalto.

CAPITULO 6.- ESTUDIO DEL MATERIAL PÉTREO.

TIPO DE MATERIAL QUE SE TRITURA EN LA PLANTA GRUPO DE ORO.

El material a usarse en el análisis para nuestras muestras representativas es de la Planta trituradora Grupo de Oro, se ubica en la carretera Morelia – Salamanca; En la cual se tritura Roca Ígnea Volcánica de “TIPO BASALTO DE LA CLASE ANDESITA”.

La andesita es una roca ígnea volcánica de composición intermedia. Su composición mineral comprende generalmente plagioclasa y varios otros minerales ferro magnésico como piroxeno, biotita y hornblenda. También puede haber cantidades menores de sanidina y cuarzo. Los minerales más grandes como la plagioclasa suelen ser visibles a simple vista mientras que la matriz suele estar compuesta de granos minerales finos o vidrio. El magma andesítico es el magma más rico en agua, aunque al erupcionar se pierde esta agua como vapor. Si el magma andesítico cristaliza en profundidad se forma el equivalente plutónico de la andesita que es la diorita. En este caso el agua pasa a formar parte de anfíboles, mineral que es escaso en la andesita.

ESTRUCTURA DE LA ROCA BASALTO CLASE ANDESITA.

TIPO	ÍGNEA- VOLCÁNICA
TEXTURA	FINO
SERIE ÍGNEA	SUBALCALICA
COLOR	GRIS OSCURO, GRIS INTERMEDIO
MINERALES ESENCIALES	PLAGIOCLASA, HORNBLENDA, PIROXENO
MINERALES ACCESORIOS	OLIVINO, BIOTITA, CUARZO

Para determinar la calidad del material pétreo para mezclas asfálticas existen pruebas de laboratorio con sus respectivas especificaciones que nos pueden ayudar a determinar las características del agregado, dichas pruebas son las siguientes:

- A. IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN.
- B. PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO
- C. GRANULOMETRÍA DE MATERIALES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.
- D. PRUEBA DE DENSIDAD RELATIVA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ABSORCIÓN.
- E. EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.
- F. PRUEBA DEL DESGASTE DE LOS ÁNGELES DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

6.1 IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN

Existen tres variantes para realizar el muestreo del material pétreo, los cuales son los siguientes:

- a). - Directamente de los bancos de material
- b). - En los camiones que estén suministrando el material para la obra
- c). - Del material que se tenga en la obra

El muestreo consiste en obtener una porción representativa del volumen de material pétreo en estudio. Se realiza directamente en los bancos de explotación, en almacenes de materiales, o durante las maniobras de carga o descarga. El muestreo incluye además las operaciones de envase, identificación y transporte de la muestra.

La muestra del agregado pétreo se obtuvo en el banco de material denominado “Trituradora Grupo de Oro” el cual está ubicado a 1.0 kilómetros de la localidad de Coto del Porvenir municipio de Tarimbaro Michoacán. La localidad se encuentra a 20.06 kilómetros de la carretera Morelia –Salamanca el cual es proveedor de material de origen volcánico.



FIGURA 6.1.1 Ubicación

Para nuestro estudio se debe de obtener una muestra representativa del material, previamente ya seleccionado para una carpeta asfáltica.

La transportaremos en costales que eviten la perdida de finos y en un vehículo adecuado para llevarlo al laboratorio. Posteriormente se seca extendiéndolo en una superficie plana para que le peguen los rayos del sol y se seque más rápido.

El procedimiento para el acarreo del material es revolviendo el material varias veces hasta que quede bien distribuido los finos con los gruesos, después se apila el material en forma cónica y se aplana en la parte superior con una pala hasta quedar a unos cinco centímetros de espesor.

Ahora se cuartea de tal manera que quede dividido en cuatro partes iguales, de esos cuatro se toman dos, los recomendados son los opuestos entre sí para realizar sus respectivos análisis, como son la granulometría, el peso volumétrico seco suelto, y todas las pruebas ya mencionadas.



FIGURA 6.1.2 Trituradora de material



FIGURA 6.1.3 Acarreo y envasado de Material pétreo



FIGURA 6.1.4 Secado de Material



FIGURA 6.1.5 Extendido de Material

6.2 PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO

El peso volumétrico seco suelto de un material pétreo se refiere a cuánto pesa el material totalmente seco en un determinado volumen, que conforma un recipiente donde se puede medir.

Teniendo en cuenta ya el cuarteo descrito en el capítulo 6.1 se prosigue a llenar el recipiente de volumen conocido, agarrando el material con un cucharón y dejándolo caer a una distancia de entre 20 a 25 cm. al centro del recipiente, sin moverlo alteradamente, apretar o apisonar el material hasta llenarlo.

Hecho lo anterior se enrasa, lo más común es con un hilo o un laso delgado que permita maniobrar bien el enrasé, después se pesa y se registra como peso del material seco (W1)

Después se le resta el peso del recipiente (W2) dividiéndolo entre el volumen (V) del mismo, se obtiene el peso volumétrico seco suelto del material pétreo.

Para obtener el peso volumétrico seco suelto se emplea la siguiente expresión:

$$PVSS = \frac{W1 - W2}{V} * 1000$$

Dónde:

PVSS= Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m3)

W1 = Peso del material seco (Kg)

W2 = Peso del recipiente (Kg)

V= Volumen del recipiente (Lts.)

Peso Volumétrico Seco Suelto (P.V.S.S)					
MUESTRA	W1 (Kg)	W2 (Kg)	V (Lts)	P.V.S.S (kg/m3)	P.V.S.S (kg/m3)
1	5.655	1.847	2.85	1336.14	1395.79
2	5.765	1.847	2.85	1374.74	
3	6.055	1.847	2.85	1476.49	

Tabla: 6.2.1.- Resultados de P.V.S.S



Fig.- 6.2.1.- Llenado de recipiente para prueba.



Fig.-6.2.2- Llenado de Material



Fig. 6.2.3.- Enrasado de recipiente.



Fig. 6.2.4.- Peso de Material y Bote

6.3 GRANULOMETRIA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

El análisis granulométrico es un estudio básico que se le aplica a los materiales pétreos para determinar la cantidad, en porcentaje (%), de los diferentes tamaños de partículas que componen una muestra representativa de material pétreo.

La granulometría nos permite también, conocer de manera tentativa la estabilidad que puede llegar a tener una carpeta asfáltica, puesto que si se tiene un material bien graduado, este nos proporciona una relación de vacíos muy baja, lo cual nos indica que el acomodo de las partículas es muy bueno, por el contrario, si se tiene un material mal graduado este puede presentar deficiencia en su estabilidad, lo cual provocaría una falla grave en nuestra carpeta asfáltica, el acomodo de las partículas de este tipo de materiales es muy malo debido a la falta de finos o gruesos según sea el caso.

Para la prueba utilizaremos el método más común, que es el de cribado, el cual consiste en separar una muestra representativa en sus diferentes tamaños por medio de mallas que van

de mayor a menor, para después pesar el retenido por cada una de estas mallas y así tener un porcentaje representativo el cual nos servirá para hacer una comparación que nos indique si el material está bien graduado o mal graduado.



Fig. 6.3.1.- Cribado de material



Fig. 6.3.2.- Diferente malla



Fig.6.3.3.- Malla para granzón



Fig.6.3.4.- Material fino

En la Tabla de la granulometría existen parámetros (Tabla. 6.3.1) que nos restringe los porcentajes mínimos y máximos que debe tener un material pétreo bien graduado en función de su tamaño y del tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de (8, 2 Toneladas) acumulados durante la vida útil del pavimento, esto nos lo marca la norma para pavimentos flexibles.

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 1/2)
Porcentaje que pasa						
50	2"	----	----	----	----	100
37.5	1 1/2"	----	----	----	100	90 - 100
25	1"	----	----	100	90 - 100	74 - 90
19	3/4"	----	100	90 - 100	60 - 76	62 - 79
12.5	1/2"	100	90 - 100	72 - 90	58 - 71	46 - 60
9.5	3/8"	90 - 100	76 - 90	60 - 76	47 - 60	39 - 50
6.3	1/4"	70 - 81	56 - 69	44 - 57	36 - 46	30 - 39
4.75	N°4	56 - 69	45 - 59	37 - 48	30 - 39	25 - 34
2	N°10	28 - 42	25 - 35	20 - 29	17 - 24	13 - 21
0.85	N°20	18 - 27	15 - 22	12 - 19	9 - 16	6 - 13
0.425	N°40	13 - 20	11 - 16	8 - 14	5 - 11	3 - 9
0.25	N°60	10 - 15	8 - 13	6 - 11	4 - 9	2 - 7
0.15	N°100	6 - 12	5 - 10	4 - 8	2 - 7	1 - 5
0.075	N°200	2 - 7	2 - 6	2 - 5	1 - 4	0 - 3

Tabla. 6.3.1.- Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (Para cualquier valor de la vida útil del pavimento ΣL).

REQUISITOS DE CALIDAD DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA DENSA (PARA $\Sigma L > 10^6$).

CARÁCTERÍSTICAS	VALOR
Densidad relativa, mínimo	2.4
Desgaste Los Angeles; % máximo	30
Equivalente arena; % mínimo	50

Tabla. 6.3.2- Requisitos de granulometría

Dichas mallas se preparan en dos juegos, el primero para la grava y el segundo para la arena ensamblándola en orden descendente de aberturas de acuerdo con lo indicado en las tablas 6.3.6 Y 6.3.7 terminando en el fondo con la charola receptora

Designacion	Abertura (mm)
2"	50
1 1/2"	37.5
1 1/4"	31.5
1"	25
3/4"	19
1/2"	12.5
3/8"	9.5
1/4"	6.3
N° 4	4.75

Tabla. 6.3.3 Juego de Mallas para grava

Designacion	Abertura (mm)
N° 10	2
N°20	0.85
N°40	0.425
N°60	0.25
N°100	0.15
N°200	0.075

Tabla. 6.3.4 Juego de mallas para arenas

Cuando ya se tiene el material en las mallas estas se colocan en un aparato especial que agita las mallas para empezar a cribar y que queden definidos los diferentes tamaños del material, o también se puede hacer manualmente aun que es un poco más tardado y cansado.

En nuestro caso el resultado del cribado del material es el siguiente:

Granulometría en Material Grueso				
N° Malla	Peso Retenido Parcial (Grs)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% Que Pasa la Malla
1 1/2"	0	0	0	100.0
1"	0	0	0	100.0
3/4"	951	6.2	6.2	93.8
1/2"	1472.6	9.6	15.8	84.2
3/8"	2561.8	16.7	32.5	67.5
1/4"	2377.7	15.5	48.0	52.0
N° 4	1641.4	10.7	58.7	41.3
Pasa N° 4	6335.5	41.3	100.0	0.0
Total	15340	100		

Tabla 6.3.5. - Resultados de gravas (gruesos).

Granulometría en Material Fino

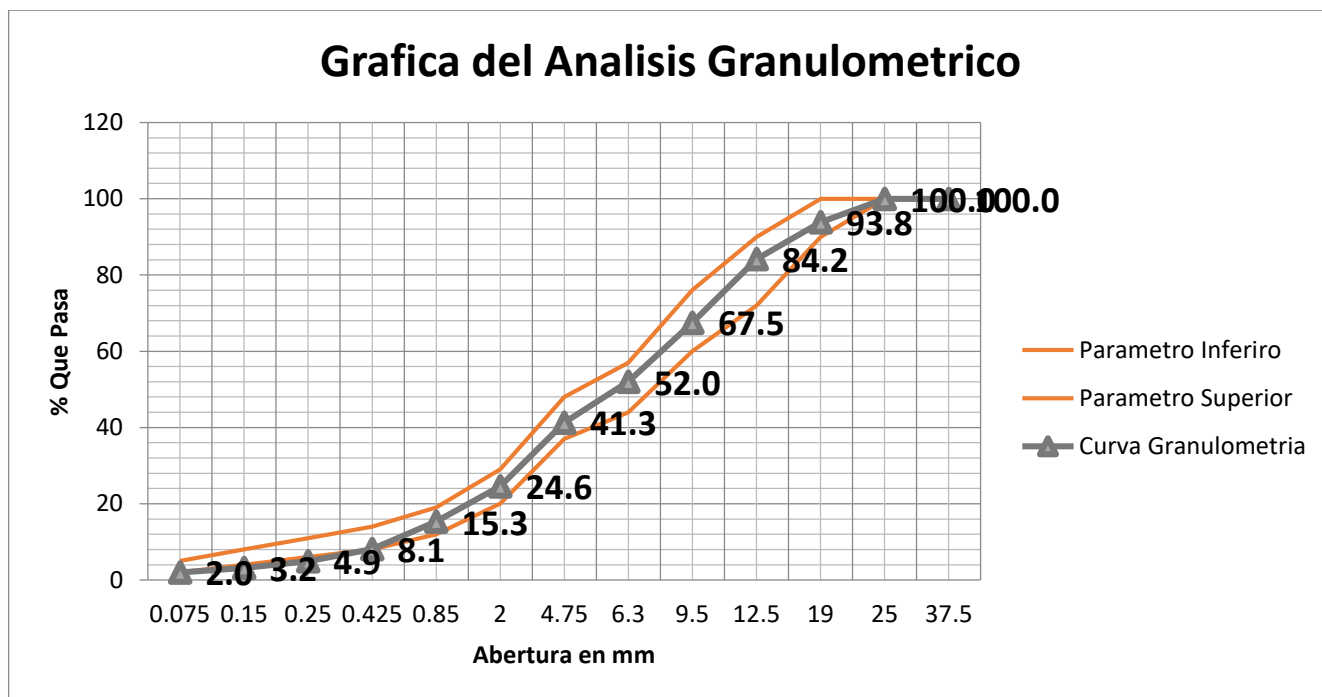
N° Malla	Peso Retenido Parcial (Grs)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% Que Pasa la Malla
10	80.9	16.7	75.4	24.6
20	45	9.3	84.7	15.3
40	34.9	7.2	91.9	8.1
60	15.5	3.2	95.1	6.0
100	8.2	1.7	96.8	4.2
200	5.8	1.2	98.0	2.0
Pasa 200	9.7	2.0	100.0	0.0
Total	200	41.3		

Tabla 6.3.6 .- Resultados de arenas (finos).

El resultado de nuestra granulometría se encuentra en la siguiente tabla.

ABERTURA (mm)	N° Malla	Peso Retenido Parcial (Grs)	% Que Pasa la Malla
37.5	1 1/2"	0	
25	1"	100	100.0
19	3/4"	90 A 100	93.8
12.5	1/2"	72 A 90	84.2
9.5	3/8"	60 A 76	67.5
6.3	1/4"	44 A 57	52.0
4.75	N° 4	37 A 48	41.3
2	10	20 A 29	24.6
0.85	20	12 A 19	15.3
0.425	40	8 A 14	8.1
0.25	60	6 A 11	6.0
0.15	100	4 A 8	4.2
0.075	200	2 A 5	2.0

Tabla 6.3.7.- Resultados generales granulometría



Grafica 1.- Análisis granulométrico del material pétreo.

Ya mostrados los resultados que me arrojó la granulometría, se observa que desde la malla N° 1" hasta la malla N°200 todas las mallas están dentro del rango de los requisitos de la granulometría para este tipo de mezcla asfáltica para cualquier valor de ejes equivalentes normado por la SCT.

Para fines prácticos se queda con esta granulometría ya que todos los valores que arrojó la Granulometría están sobrados para la realización de nuestra mezcla asfáltica.

6.4 PRUEBAS DE DENSIDAD RELATIVA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

Los valores de estas dos pruebas están íntimamente ligados y dan un buen indicio de la calidad del material. Aun cuando existen valores límites fijados por las Especificaciones.

Debe procurarse siempre elegir materiales que presenten mayor densidad y menor absorción, que por lo general son los que presentan un menor grado de alteración y consecuentemente una mayor estabilidad estructural.

Los materiales pétreos cuya absorción es alta, requieren el empleo de una mayor cantidad de asfalto en comparación con los de baja absorción, se corre el riesgo de que la cantidad de asfalto utilizado no sea suficiente para cubrir las partículas con una película de espesor necesario, debido a la mayor cantidad de huecos por llenar, lo que provoca una disminución en la vida útil de la carpeta. Cuando se presenta este caso en una mezcla asfáltica, es conveniente aumentar la cantidad de asfalto.

La densidad relativa aparente de un material pétreo se define como la relación de peso de dicho material con respecto al agua destilada a 4° C, en tanto la absorción, es la capacidad máxima del material para absorber agua en un periodo de 24 horas. Estas pruebas se practican al material pétreo retenido en la malla de 3/8" (9.50 mm).

Para realizar las pruebas de densidad relativa y absorción de los materiales pétreos que se emplean para la elaboración de las mezclas asfálticas se toma una porción en gramos de material que se retiene en la malla 3/8" (9.50 mm) y se pone a saturar en agua destilada durante un periodo de 24 horas.

Transcurrido el tiempo y el material saturado y superficialmente seco se sumerge en el picnómetro y se recolecta en la probeta graduada el agua desalojada. Al concluir la inmersión del material, se mide sobre la escala de la probeta graduada el volumen correspondiente y se registra el resultado como peso húmedo (P_h).

Se extrae el material del picnómetro y se coloca en una charola para secarlo en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 20 horas. Transcurrido el tiempo, el material se saca del horno y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

Una vez enfriado, se determina el peso del material seco (P_s) y se registra en gramos.

Con las siguientes expresiones se calcula la densidad y la absorción, respectivamente:

$$D = \frac{P_s}{V}$$

Dónde:

D = Densidad relativa aparente

P_s = Peso seco del material (gr.)

V = Volumen desalojado de agua (cm³)

Densidad Relativa				
MUESTRA	P_s (grs)	V (cm³)	Dr	Densidad Relativa
1	320	115	2.78	2.42
2	320	180	1.78	
3	325	120	2.71	

Tabla 6.4.1.- Densidad Relativa.

$$\% \text{ de absorción} = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100$$

Dónde:

Ph = Peso húmedo del material (gr.)

Ps = Peso seco del material (gr.)

% Absorción				
MUESTRA	Ph (grs)	Ps (grs)	% Abs.	% Absorción
1	331	320	3.44	3.16
2	331	318	4.09	
3	332	325	2.15	

Tabla 6.4.2.- Porcentaje de Absorción.



Fig. 6.4.1 Secado superficial

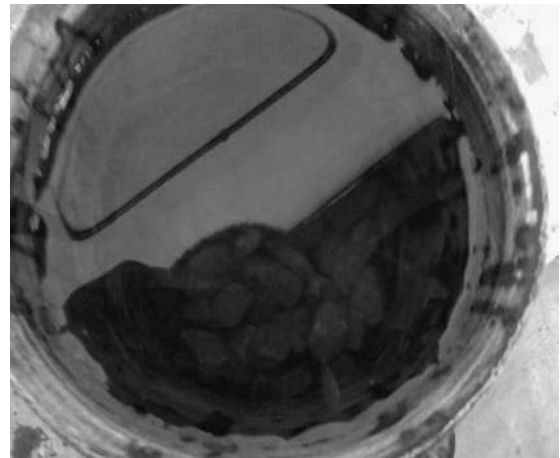


Fig. 6.4.2 Saturación de Material



Fig. 6.4.3 Secado del material



Fig. 6.4.4 Peso material Seco

6.5 EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

Se refiere a la cantidad de arcillas o limos que tiene el material pétreo, los cuales dan una consistencia plástica a la muestra, esta prueba se realiza a materiales pétreos para base, sub-base, carpeta asfáltica y concreto hidráulico.

Esta prueba permite determinar el contenido y actividad de los materiales finos o arcillosos presentes en el material pétreo empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en agitar un cilindro, que contiene una muestra del material pétreo que pasa la malla No.4, mezclada con una solución que permite separar la arena de la arcilla.

Para esta prueba es necesario preparar una solución de reserva que consiste en:

Se disuelve 454 gr. de cloruro de calcio en 1.9 Lts. de agua destilada.

Se enfría la solución al aire libre, hasta alcanzar la temperatura ambiente y después se pasa a través de papel filtro.

Se agrega 47 gr. De formaldehído, 2,047 gr. de glicerina, mezclándose bien y diluyéndose con agua destilada hasta completar 3.2 Lts. de agua.

Para preparar la solución de trabajo, en la botella equipada con el equipo sifón se diluye 90 ml. De la solución de reserva en 3.8 Lts. de agua destilada.



Fig.6.5.1 Capsula de Muestra



Fig.6.5.2 Equipo Sifón



Fig.6.5.3 Muestra de prueba



Fig.6.5.4 Cilindro y Pisón para la prueba

Una vez preparado el sifón, se sopla dentro de la botella por la parte superior a través de un pequeño tubo estando abierta la pinza, para que el sifón quede listo. Por medio del sifón se introduce la solución de trabajo al cilindro hasta una altura de 10 cm (4").

Con la ayuda del embudo, se vacía al cilindro de la prueba la muestra de material contenida en la capsula, golpeando firmemente varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para eliminar las burbujas de aire atrapado dentro del material y acelerar la saturación de la muestra.

Se deja reposar la muestra durante 10 minutos, se cierra el cilindro de prueba con un tapón y se agita de dos formas agitado manualmente o agitado con equipo. En nuestro caso la agitaremos manualmente, que consiste en agitar vigorosamente el cilindro colocado en posición horizontal de un lado a otro en sentido longitudinal durante 90 ciclos durante 30 segundos con una carrera de aproximadamente 20 cm, entendiéndose que un ciclo comprende un movimiento completo de oscilación, es decir de un lado al otro hasta concluir en la posición de partida.

Concluida la agitación, se coloca el cilindro sobre la mesa de trabajo y se le quita el tapón, inmediatamente se le inserta el tubo irrigador con el cual se lavan las paredes del cilindro de arriba hacia abajo hasta concluir en el fondo.

Cuando el nivel del líquido llegue a 38.1 cm (15"), se deja reposar el cilindro durante 20 minutos evitando cualquier tipo de movimiento o vibración durante este periodo, transcurrido el cual, la arena se a sedimentado y los finos permanecen en suspensión.

Se mide y registra el nivel superior de los finos en suspensión (LNS finos). Después se introduce lentamente la varilla con pisón dentro del cilindro, tratando de no formar turbulencia, hasta que la base descansa en la arena, se observa el nivel de la parte superior del indicador de la escala del cilindro se le resta la altura h (254 mm aprox.) y se registra como el nivel superior de arenas (LNS arena).

El porcentaje de equivalentes de arena se calcula con la siguiente expresión:

$$\% \text{ Equivalente de arena} = \frac{LNS \text{ arena}}{LNS \text{ finos}} * 100$$

Dónde:

LNS arena = Nivel superior de la arena (cm)

LNS finos = Nivel superior de finos (cm)

% De Equivalente de Arena				
MUESTRA	LNS arena (cm)	LNS finos (cm)	% de E. Arena	% de Equivalente de Arena
1	9.22	11.67	79.01	75.50
2	8.46	11.75	72.00	

Tabla 6.5.1 Muestra de prueba

RESULTANDO UN EQUIVALENTE ARENA = 75.50 %



Fig.6.5.5 Cilindro con la Muestra



Fig.6.5.6 Sifón más los cilindros

6.6 PRUEBA DEL DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Estas pruebas dan una idea del grado de alteración sufrido por el material pétreo. A mayor grado de alteración corresponderá un desgaste más elevado. También indican planos de debilitamiento en las partículas del agregado.

En esta prueba se utiliza la máquina de abrasión Los Ángeles, que está constituida por un cilindro de acero, hueco, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 71 cm. Y una longitud de 50 cm., provisto de una tapa lateral con cierre hermético y que lleva en su

interior una placa de acero de 1" de espesor que se proyecta radialmente 9 cm. Sobre el cilindro en toda su longitud. El cilindro está montado sobre ejes fijos a las bases, pero que no se proyectan en su interior, de manera que pueda girar sobre su eje en posición horizontal con una velocidad angular de 30 a 33 r.p.m.

Para la prueba se utilizan esferas de fierro fundido o de acero como carga abrasiva, con un peso comprendido entre 390 a 445 gr. Para cada esfera, y en número que se fija de acuerdo a la graduación del material pétreo.



Fig. 6.6.1 Maquina Los Ángeles



Fig. 6.6.2 Material Obtenido

Primero se tiene que clasificar el material pétreo mediante la siguiente tabla:

Tipo de composición de la muestra de prueba	Rango de tamaños		Masa de la fricción gr	Carga Abrasiva	
	mm	Designación		Número de esferas	Masa total
A	37.5 - 25	1 1/2" - 1"	1 250 ± 25	12	5 000 ± 10
	25 - 19	1" - 3/4"	1 250 ± 25		
	19 - 12.5	3/4" - 1/2"	1 250 ± 10		
	12.5 - 9	1/2" - 3/8"	1 250 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
B	19 - 12.5	3/4" - 1/2"	2 500 ± 10	11	4 584 ± 25
	12.5 - 9.5	1/2" - 3/8"	2 500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
C	9.5 - 6.3	3/8" - 1/4"	2 500 ± 10	8	3 330 ± 20
	6.3 - 4.75	1/4" - N° 4	2 500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
D	4.75 - 2	N° 4 - N° 10	5 000 ± 10	6	2 500 ± 15

Tabla 6.6.1 Clasificación de los materiales según su granulometría.



Fig.- 6.6.3.- Once esferas en la prueba.



Fig.- 6.6.4.- Material en prueba de los ángeles.

Como se puede observar en la tabla anterior existen varias clasificaciones de materiales pétreos por lo que, al comparar nuestra granulometría, tenemos que nuestro material es de tipo C, puesto que el mayor porcentaje de partículas se retiene en la malla 3/8" (9.50 mm). Identificando el tipo de material, se toma la cantidad indicada en la tabla de las partículas retenidas en las mallas 3/8" (9.5 mm) y la N° 1/4" (6.30 mm), se lava para eliminar el polvo adherido y se seca en el horno a una temperatura de 100 a 110° C. También se utilizarán 11 esferas de acero según indica la tabla 6.6.3.

Se registra el peso de la muestra como inicial en la maquina "Los Ángeles" junto con las 11 esferas de acero, se pone en marcha la máquina hasta completar el total de revoluciones especificadas en la tabla 6.6.3, que es de 500 revoluciones. Una vez concluida esta operación se procede a cribar el material a través de la malla N° 12 (1.70 mm), se pesa la porción retenida en dicha malla y se registra el peso como final.

El porcentaje de desgaste del material pétreo se obtiene con la siguiente expresión:

$$D = \frac{Wi - Wf}{Wi} * 100$$

Dónde:

D= Desgaste del material pétreo (%)

Wi= Peso inicial de la muestra (gr.)

Wf= Peso final de la muestra (gr.)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

Material Pétreo a utilizar:

A).- Material de 3/8" = 2,500 grs

B).- Material de 1/4" = 2,500 grs

C).- N° de Esferas = 11

D).- Tiempo = 12.5 minutos

Pi = 5,000 grs

Pf = 4,253 grs

Sustituyendo los Valores, obtenemos lo siguiente:

% Desgaste de los Ángeles			
MUESTRA	Wi(gr)	Wf(gr)	% Desgaste
1	5000	3930	21.40

Tabla 6.6.2- Porcentaje de desgaste de los ángeles.

$$\% \text{ DESGASTE DE LOS ANGELES} = \frac{5000 - 3930}{5000} * 100 = 21.40 \%$$

6.7 TABLA DE RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS APLICADAS AL MATERIAL PÉTREO.

BANCO DE MATERIALES "GRUPO DE ORO" MORELIA, MICH

NOMBRE DE LA PRUEBA	RESULTADO	ESPECIFICACIONES DE SCT
PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO	1395.79 KG/M ³	NO EXISTE NORMA
GRANULOMETRÍA	SE OBTUVO DE LA GRANULOMETRÍA	ESPECIFICADA EN LA GRAFICA (GRANULOMETRÍA) SE TOMÓ DE LA TABLA # 1 DEL LIBRO DE LA SCT CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES (M-MMP-4-04-002/2).
DENSIDAD RELATIVA APARENTE	2.42	2.4% COMO MÍNIMO DE LA NORMA (M-MMP-4-04-004/02)
ABSORCIÓN	3.16	DENSIDAD RELATIVA = 2.4 % COMO MINIMO DE LA (M-MMP-4-04-004/02), MENOR DE 2% BAJA ABSORCION, ENTRE 2 % Y 4% DE MEDIANA ABSORCION Y MAYOR DE 4% ALTA ABSORCION.
EQUIVALENTE DE ARENA	75.50%	50% COMO MÍNIMO DE LA NORMA (M-4-04-004/02)
DESGASTE DE LOS ÁNGELES	21.40%	30% COMO MÁXIMO DE LA NORMA LA (M-MMP-4-04-006/02)

6.8 CONCLUSIONES

Como se puede observar en la tabla anterior con la serie de resultados realizados al material pétreo originario del banco de material nombrado “Trituradora grupo de oro” el material del banco es de Muy buena calidad, teniendo en cuenta que los materiales de origen volcánico (piedra) son parte los materiales pétreos como parte de los Basaltos, adecuados para tener una buena estabilidad en un pavimento de concreto asfáltico, por ser un material rígido y sólido en su estructura.

Primeramente, se puede observar que el peso volumétrico seco suelto de este material está sobrado lo cual nos indica que el volumen es poco alto y por lo tanto la densidad siendo de 2.42 que es más alto que el mínimo establecido en la norma para pavimentos flexibles.

La granulometría que se tiene en este material es muy buena ya que en el porcentaje de finos está por encima de los límites permisibles de la tabla establecida para mezclas asfálticas. Por lo que se considera como buena.

Lo que es la densidad relativa aparente es de 2.42 está en los límites permisibles y la absorción es mediana del 3.16 % por lo que se va adherir asfalto de manera normal.

Para la prueba de equivalente de arenas se observa que está entre el 75 y 80 %, lo cual nos indica que el material se podrá adherir mucho mejor con el cemento asfáltico, esto se puede reflejar en la prueba de desprendimiento por fricción en el material ya que es casi nula el desprendimiento del cemento de la partícula.

Dado lo anterior se utiliza el material pétreo para la mezcla asfáltica.

CAPITULO 7.- CEMENTO ASFÁLTICO

7.1 DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFALTICO

Para conocer la calidad de un cemento asfáltico es necesario efectuar cierto número de pruebas, en las cuales existen normas reguladas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y por la ASTM, que son las más utilizadas en nuestro país; El cemento asfáltico es el complemento de una mezcla asfáltica para obtener una capa de rodadura resistente.

Otro resultado que nos puede arrojar de estas pruebas es el tipo de cemento asfáltico que se está trabajando, este es otro aspecto muy importante de un cemento asfáltico, cada tipo de cemento asfáltico tiene cierto dominio en determinadas zonas de nuestro país, dependiendo del clima de la región.

Los cementos asfálticos están clasificados principalmente por su dureza como los AC-10 que son uno de los más duros después le siguen los AC-20 menos duros, y así sucesivamente hasta llegar al AC-40 que es el más blando.

Para el caso del cemento asfáltico AC-20 se puede concluir que es el aglutinante que más demanda tiene la región central del país, por el tipo de clima que predomina.

En las siguientes pruebas se determinará la calidad del cemento asfáltico AC-20 (EKBE 64 - 22 de la refinería de salamanca Guanajuato), para mezclas asfálticas.

Es muy importante tomar en cuenta algunas propiedades del cemento asfáltico, para su identificación y clasificación las cuales se obtienen de las siguientes pruebas:

- **PENETRACIÓN EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.**
- **PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.**
- **PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.**
- **DUCTILIDAD EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.**

7.2 PENETRACIÓN EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

Esta prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, mediante la penetración vertical de una aguja con una prueba de cemento asfáltico bajo condiciones establecidas de peso, tiempo y temperatura.

La penetración se debe efectuar en 5 segundos en cuanto la punta de la aguja este en contacto con la superficie del asfalto, se deja caer libremente y se mide en decímetros de milímetro, que se denominan grados de penetración.

Cuando los grados de penetración son menores se refiere a que el asfalto es de mayor dureza.

De acuerdo a la prueba realizada el resultado es el siguiente:

Prueba de Penetración		
Muestra	Penetración(grados)	Penetración(grados)
1	46	50
	46	
	54	
	50	
	54	

Tabla. - 7.2.1- Prueba de penetración en cemento asfáltico.



Fig.- 7.2.1- Capsulas para la prueba.



Fig.- 7.2.2- Capsula llena y penetrometro.



Fig.- 7.2.3- Capsula en baño de agua.



Fig.- 7.2.4- Capsula en penetrometro.



Fig.- 7.2.5- Prueba de penetración.



Fig.- 7.2.6- Capsula después de la prueba.

7.3 PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFALTICOS.

Esta prueba nos indica la temperatura máxima a que puede calentarse el producto asfáltico sin que presente el peligro de inflamación.

Lo anterior no significa que el producto no pueda o no deba calentarse a una temperatura superior a la de su punto de inflamación, sino simplemente en estos casos deberán extremarse las precauciones para evitar el riesgo de incendio.

La determinación del punto de inflamación se hace calentando el aglutinante en la copa abierta de Cleveland, que es un recipiente cilíndrico de metal, provisto de un labio plano, y haciendo pasar horizontalmente una flama sobre los bordes de la copa hasta que se provoca primero la primera chispa y luego la flama de la inflamación de los solventes que se están desprendiendo.

La temperatura a la que se producen flamas instantáneas es el punto de inflamación.

Los resultados de esta prueba fueron los siguientes:

Prueba Punto de Inflamación	
Muestra	°C
Primer Chispazo	245
Flama	255

Tabla. - 7.3.1- Punto de inflamación.



Fig.-7.3.1 Sujetador de prueba



Fig.-7.3.2 Copa abierta de Cleveland



Fig.- 7.3.3- Aplicación de la prueba.



Fig.- 7.3.4.- Aplicación de calor a la muestra.

7.4 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFALTICOS.

El punto de reblandecimiento de un aglomerante es la temperatura a la cual se reblandece lo suficiente para dejar que una esfera de acero situada inicialmente en la superficie caiga a través del disco hasta llegar a una distancia determinada. El punto de reblandecimiento se emplea para caracterizar los asfaltos duros.

Los materiales bituminosos no pasan de sólidos a líquidos en una temperatura determinada, sino que se reblandecen gradualmente a medida que la temperatura sube.

El objetivo de esta prueba permite estimar la consistencia de los cementos asfálticos y se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 2.5 cm, en una muestra de asfalto sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua.

Los resultados de esta prueba fueron los siguientes:

Prueba de Reblandecimiento		
Muestra	°C de Reblandecimiento	
1	46	
2	47	

Tabla. - 7.4.1- Prueba de reblandecimiento.



Fig.- 7.4.1- Anillos para la prueba.



Fig.- 7.4.2- Anillos enrasados y anillo de centrado.



Fig.-7.4.3.- Anillos en base la base de la prueba.



Fig.- 7.4.5 -Baño de agua con balín.

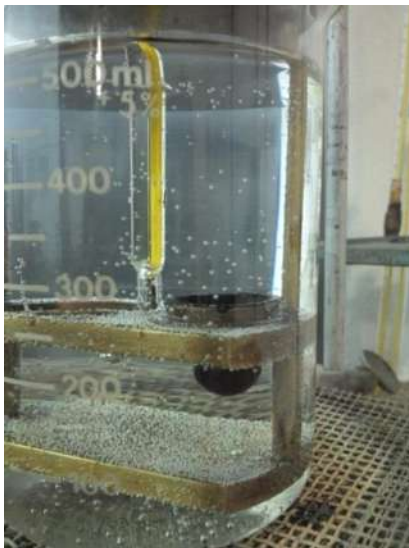


Fig.- 7.4.6.-Reblandecimiento con el balín en baño de agua.



Fig.- 7.4.7-Prueba terminada.

7.5 PRUEBA DE DUCTILIDAD DE CEMENTOS ASFALTICO.

La ductilidad de un asfalto se define como la distancia en centímetros que puede alargarse una probeta normalizada antes de que el hilo así formado se rompa en las condiciones especificadas.

Un cemento asfáltico debe tener cierta ductilidad por que los pavimentos bituminosos están sometidos a cambios de temperatura que producen dilataciones y contracciones. Además, los esfuerzos producidos por la carga de los vehículos producen movimientos en el pavimento.

El objetivo de esta prueba permite determinar la capacidad para deformarse sin romperse los cementos asfálticos. Esta prueba consiste en medir la máxima distancia a la cual una briqueta de dichos materiales, de geometría y bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación específica, puede ser estirada sin romperse.

Los resultados de esta prueba fueron los siguientes:

Prueba de Ductilidad	
Muestra	Longitud (cm)
1	141

Tabla. - 7.5.1.- Prueba de ductilidad.



Fig.- 7.5.2.-Juego de briquetas de prueba.



Fig.- 7.5.3-Vaciado del cemento Asfaltico



Fig.- 7.5.4 -Prueba de ductilidad con briquetas.



Fig.-7.5.5 -Maquina de prueba de ductilidad.

7.6 TABLA DE RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS APLICADAS AL CEMENTO ASFALTICO.

Cemento Asfaltico AC-20 (EKBE 64 -22) Salamanca.

Nombre de la Prueba	Resultado	Especificación
Penetración en cemento asfaltico	65	60 mínimo; N-CMT-4-05-001/6
Punto de inflamación Cleveland en cementos asfalticos	255°C	232 mínimo; de las N-CMT-4-05-001/06
Punto de reblandecimiento en cementos asfalticos	47°C	entre 48 y 56; N-CMT-4-05-001/06
Ductilidad de cementos asfalticos	141 cm	50 mínimo; N-CMT-4-05-001/06

Tabla. - 7.6.1.- Tabla de resultados de las pruebas

Como podemos observar la tabla 7.6.1.- los cálculos de las pruebas realizadas al cemento asfáltico AC-20, cumplen en todas las pruebas conforme a lo establecido en las normas propuestas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT. N-CMT- 4- 05- 001 /06.

Por lo tanto, una vez verificando los resultados obtenidos de las pruebas con el control de calidad de SCT, podemos decir que el cemento pasa todas las calidades del AC-20; Es un cemento rígido para la elaboración de una carpeta asfáltica con las condiciones de granulometría también ya obtenidas y favorables para su elaboración de la carpeta.

CAPITULO 8.- DISEÑO DE LA MEZCLA.

8.1 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL

La cantidad mínima de asfalto necesario para cubrir la totalidad de las partículas se expresa como porcentaje del peso total del agregado pétreo y va en función de las características físicas del mismo, de su graduación y del tipo de producto asfáltico que se va aplicar.

El contenido óptimo de asfalto es aquel que produce la mejor combinación de resistencia estructural y durabilidad de la carpeta. Dentro de los límites prácticos se considera que a mayor película de asfalto corresponde a una mayor resistencia al interperismo y a la abrasión producida por los vehículos. Por lo que se refiere a la resistencia estructural, consideramos que, para un mismo agregado pétreo, al ir aumentando la película de asfalto, encontramos 3 condiciones:

1. El asfalto actúa como aglutinante y dentro de esta condición, se presenta la máxima resistencia estructural, pero durabilidad mínima.
2. La película de asfalto actúa con menor poder adhesivo y comienza a observarse un cierto grado de lubricación entre las partículas de material pétreo, disminuyendo por esta causa, la resistencia estructural y aumenta la durabilidad. Dentro de esta condición se localiza el espesor de película de asfalto que proporciona la mejor combinación de resistencia estructural y durabilidad que corresponde al contenido óptimo de asfalto.
3. La película de asfalto, al ir aumentando de espesor, actúa principalmente como lubricante, perdiendo considerablemente su poder adhesivo. En esta condición se va perdiendo resistencia de la carpeta y se provocan grandes deformaciones con el paso de los vehículos.

La determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico se hace mediante el Método más utilizado en nuestro país conocido como **Método Marshall** el cual se describe a continuación:

Método Marshall.

Para el caso de nuestra mezcla asfáltica se opta por utilizar el Método Marshall para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico.

El método original Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor.

En este método el análisis de los parámetros mencionados permite conocer o controlar las condiciones más favorables de impermeabilidad y durabilidad de la mezcla, con lo cual se pueden fijar márgenes para evitar exceso o escasez de aglutinante. El valor de estabilidad es un índice de la resistencia a la carga, en N (Kgf) de la mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad; ambas propiedades ayudan por otra parte a juzgar las características de forma y superficie del material pétreo que integra la mezcla. El método Marshall se aplica al control de todas o algunas de las características que el mismo involucra,

según se establezca en el proyecto. Para el diseño de mezclas asfálticas se elaborarán especímenes con diferentes porcentajes de asfalto, a fin de conocer cuáles son los que proporcionan condiciones favorables y de ellos seleccionar el óptimo para el cálculo.

Para el cálculo del contenido óptimo de cemento asfáltico mediante el Método Marshall es necesario conocer el contenido mínimo de asfalto, para lo cual existen 2 métodos los cuales son:

- ❖ **SUPERFICIE ESPECÍFICA.**
- ❖ **FORMULA ANALÍTICA DE LA S.C.T.**

De acuerdo al resultado de mi granulometría del material pétreo, es necesario optar por el Método de la Superficie Específica.

Al método a utilizar, mencionado anteriormente se basa en la estimación aproximada de la superficie total de las partículas del material pétreo, por lo que la granulometría del material es indispensable.

Para el cálculo de la superficie total del agregado pétreo se utiliza constantes de área las cuales se obtienen de la tabla 8.1.1., dichas constantes están expresadas en m² por cada kilogramo de material.

Tamaño del Material		Constante de Área
Pasa Malla	Retenido en Malla	M ² /Kg
1 1/2"	3/4"	0.27
3/4"	N° 4	0.41
N° 4	N° 40	2.05
N° 40	N° 200	15.38
N° 200		53.3

TABLA 8.1.1.- CONSTANTE DE ÁREA.

Para determinar la superficie total de la muestra se multiplica cada uno de las constantes de área por el porcentaje retenido por las mallas indicadas en la tabla 8.1.1., teniendo la superficie total de la muestra se multiplica por un índice asfáltico, el cual está en función de la angulosidad de las partículas y de la absorción de las mismas, el índice asfáltico se toma de la tabla 8.1.2., De acuerdo a las características que tiene nuestro material pétreo.

De la siguiente tabla **8.1.2.** Tomamos en índice asfáltico dependiendo del tipo de material que escogimos para el cálculo de nuestras pruebas.

Material	Índice Asfáltico
Gravas o arenas de río o materiales redondeados de baja absorción.	0.0053
Gravas angulosas o redondeadas, trituradas, de baja absorción.	0.006
Gravas angulosas o redondeadas, de alta absorción y rocas trituradas de media absorción.	0.007

TABLA. - 8.1.2 TABLA DE ÍNDICE ASFALTICO.

Banco de Materiales "Grupo de Oro" Morelia, Mich	
N° de Malla	% de Material que Pasa
1 1/2"	100
1"	100.0
3/4"	93.8
1/2"	84.2
3/8"	67.5
1/4"	52.0
N° 4	41.3
N° 10	24.6
N° 20	15.3
N° 40	8.1
N° 60	4.9
N° 100	3.2
N° 200	2.0

TABLA. - 8.1.3- COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL BANCO DE MATERIALES.

Tamaño Material		% En Peso	Constante de Área M²/Kg	Superficie Parcial M²/kg	Índice Asfáltico Kg/ M²	Contenido	% De Contenido	% De Contenido Mínimo
Pasa En	Retenido En							
1 1/2"	3/4"	6.2	0.27	0.0167	0.007	0.00011718	2.6	3.6
3/4"	N° 4	52.5	0.41	0.2153	0.007	0.00150675		
N° 4	N° 40	33.2	2.05	0.6807	0.007	0.0047649		
N° 40	N° 200	6.1	15.38	0.9369	0.007	0.0065583		
Pasa N° 200		2.0	53.3	1.0676	0.007	0.0074732		
Total		100.0		2.9172		0.02042033		

TABLA. - 8.1.4- CÁLCULO DEL CONTENIDO MÍNIMO DE ASFALTO

Esta mezcla fue elaborada con asfalto sólido, por lo tanto, este contenido mínimo debe multiplicarse por 1.25, esto por tener los asfaltos sólidos un menor poder de cubrimiento.

El resultado que se obtuvo en este análisis es de 2.6%, pero según la norma hay que incrementar este porcentaje en un 1%, quedando como **contenido mínimo de asfalto de 3.6%.**

Ya obtenido el contenido mínimo de asfalto, se procede a la preparación de los especímenes los cuales quedan de la siguiente manera en la parte de la granulometría, utilizando la cantidad de 1200 grs.

Banco de Materiales "Grupo de Oro" Morelia, Mich				
N° Malla		% Retenido Parcial	Peso Total de la Muestra en Gramos	Peso del Material en Gramos
Pasa	Retiene			
1 1/2"	1"	0.0	1200	0.00
1"	3/4"	6.2	1200	74.4
3/4"	1/2"	9.6	1200	115.2
1/2"	3/8"	16.7	1200	200.40
3/8"	1/4"	15.5	1200	186.00
1/4"	N° 4	10.7	1200	128.40
N° 4	N° 10	16.7	1200	200.47
N° 10	N° 40	16.5	1200	197.99
N° 40		8.1	1200	97.14
Total		100.0		1200.00

TABLA. - 8.1.5- COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA PARA CADA ESPÉCIMEN.

Por lo tanto, a cada espécimen se le agregara el peso requerido de cemento asfáltico dependiendo el porcentaje, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Peso Material (GRS.)	contenido mínimo C.A.	Peso Grs. del C.A.
1200	3.6%	43.2
1200	4.1%	49.2
1200	4.6%	55.2
1200	5.1%	61.2
1200	5.6%	67.2
1200	6.1%	73.2

TABLA.- 8.1.6- TABLA DE GRAMO

DE C.A POR CADA %.

8.2 CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO.

El contenido óptimo de cemento asfáltico es aquel que produce la mayor combinación de resistencia estructural y durabilidad de una carpeta.

A un mayor espesor de la película asfáltica, corresponde una mayor resistencia al interperismo y ala abrasión producida por los vehículos.

La determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico puede hacerse por varios procedimientos, entre ellos, por el Método de Marshall y por el Método de la prueba de Compresión Axial no Confinada.

Para este estudio se utilizó el Método de Marshall.

El método Marshall se emplea para el proyecto y control de mezclas elaboradas con un tamaño máximo de agregado pétreo de 1" (25.4mm), y cemento asfáltico en plantas estacionarias en caliente.

El procedimiento consiste fundamentalmente en elaborar especímenes cilíndricos a los cuales se les determina su peso volumétrico, relación de vacíos, estabilidad en sentido diametral y deformación al alcanzar su mayor resistencia (flujo).



Fig.- 8.2.1 - Especímenes cilíndricos.

La estabilidad es un valor de índice de resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada, los factores que pueden afectar la estabilidad de una carpeta asfáltica son la granulometría y el tipo de agregado pétreo, así como el contenido de cemento asfáltico en la mezcla.

Cabe mencionar que el material pétreo juega un papel muy importante en la estabilidad de una carpeta asfáltica puesto que si este es de mala calidad presentará poca resistencia a la acción de las cargas aplicadas por los vehículos.

El flujo o deformación de una carpeta asfáltica en la prueba Marshall, esta medida en sentido transversal o diametral, este valor es un indicador de flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación, puesto que al llegar al punto de máxima resistencia estructural la carpeta asfáltica entra en un plástico produciendo la falla de la misma.

Para realizar el Método Marshall, primero conforme al contenido mínimo se hacen muestras (pastillas espécimen) sumando de 4% a contenido mínimo hasta llegar a tener 6 tipos

diferentes de contenido contemplando el contenido mínimo, y de cada tipo diferente de contenido de asfalto se realizan tres muestras (pastillas).

% DE C.A.	GRS. DE A.C.	PESO DE MATERIAL PRETEO (GRS.)
4.0	43.2	1200
4.5	49.2	1200
5.0	55.2	1200
5.5	61.2	1200
6.0	67.2	1200
6.5	73.2	1200

Tabla. - 8.2.1 - Tabla de contenido de C.A por cada muestra (pastilla).



Fig.- 8.2.2 – Material pétreo



Fig.- 8.2.3 – Material pétreo



Fig.- 8.2.4 – Calentamiento de material pétreo



Fig.- 8.2.5 – Vertido de cemento asfáltico



Fig.- 8.2.6 – Mezclado de material pétreo y C.A.



fig.- 8.2.7 – Vertido de mezclado en compactadora



Fig.- 8.2.8 – Compactación de material mezclado



fig.- 8.2.9 – Pastillas a los diferentes % de C.A.



Fig.- 8.2.10 – Pastillas a los diferentes % de C.A.



fig.- 8.2.11 – Pastillas a los diferentes % de C.A.

Des pues de su extracción del monde se pone en una superficie plana y horizontal, en donde permanecerá en reposo para que se enfrié y llegue a temperatura ambiente, antes de ser probado, el tiempo que debe durar para que se enfrié es durante un periodo de 12 a 24 horas a partir de su elaboración.

Los especímenes deben tener una altura promedio de 63.5 mm con una tolerancia de 3.2 mm, en caso de no tener la altura especificada y aplica un factor de corrección, los cuales están enumerados.

Teniendo todos los especímenes a temperatura ambiente, tres para cada contenido de asfalto, se procede a registrar su peso en aire, su altura y su peso sumergido en agua.

Para el peso sumergido en agua el espécimen se tiene que impermeabilizar, con el fin de que el agua no penetre al interior del espécimen. Para este proceso se utilizará parafina de la cual debemos tener su peso específico relativo.

Se toma la cantidad de parafina necesaria para cubrir todos los especímenes y se calienta hasta que esté totalmente líquida, se toma uno por uno los especímenes y se sumergen en la parafina por no más de 5 segundos para evitar que el calor afecte el espécimen, se deja en reposo hasta que se solidifique totalmente la parafina y se pesan en el aire, después de esto se vuelven a pesar, pero surgidos en agua.

Una vez registrados todos los datos anteriores, se sumergen todos los especímenes en el baño de agua, a una temperatura de 60° C durante un lapso de 30 a 40 minutos.

Transcurrido el tiempo, se sacan uno en uno los especímenes, se secan superficialmente y se coloca sobre el cabezal inferior y se centra en el mismo, se monta el cabezal superior y en esta forma se lleva el conjunto a la máquina de compresión Marshall, en donde se coloca y se centra. Se instala sobre la varilla guía el extensómetro para medir el flujo, se ajusta a cero (0) su carátula y durante la prueba se sujeta con el casquillo, oprimiendo contra el cabezal.

Tabla. 8.2.2 -Datos de pastillas y lectura de la prueba (Marshall).

DISEÑO MARSHALL									4.0%
MUESTRA	PESO DE MATERIAL PETREO (GRS.)	PESO DE CEMENTO ASFALTICO (GRS.)	CONTENIDO MINIMO	PESO SIN PARAFINA (KG)	ALTURA DE PASTILLA(CM)	PESO CON PARAFINA (KG)	PESO CON PARAFINA EN AGUA	LECTURA DE MAQUINA	MICROMETRO
1	1200	43.2	0.040	0.951	5.6	0.979	0.5371	0.24	130
2	1200	43.2	0.040	0.950	5.5	0.968	0.5473	0.25	99
3	1200	43.2	0.040	0.926	5.6	0.955	0.5346	0.22	92
DISEÑO MARSHALL									4.5%
MUESTRA	PESO DE MATERIAL PETREO (GRS.)	PESO DE CEMENTO ASFALTICO (GRS.)	CONTENIDO MINIMO	PESO SIN PARAFINA (KG)	ALTURA DE PASTILLA(CM)	PESO CON PARAFINA (KG)	PESO CON PARAFINA EN AGUA	LECTURA DE MAQUINA	MICROMETRO
1	1200	49.2	0.045	0.916	5.7	0.944	0.518	0.2	97
2	1200	49.2	0.045	0.941	5.5	0.962	0.5371	0.21	109
3	1200	49.2	0.045	0.946	5.4	0.974	0.5415	0.26	83
DISEÑO MARSHALL									5.0%
MUESTRA	PESO DE MATERIAL PETREO (GRS.)	PESO DE CEMENTO ASFALTICO (GRS.)	CONTENIDO MINIMO	PESO SIN PARAFINA (KG)	ALTURA DE PASTILLA(CM)	PESO CON PARAFINA (KG)	PESO CON PARAFINA EN AGUA	LECTURA DE MAQUINA	MICROMETRO
1	1200	55.2	0.050	0.980	5.5	1.001	0.5625	0.26	115
2	1200	55.2	0.050	0.924	5.2	0.943	0.5281	0.26	113
3	1200	55.2	0.050	0.954	5.7	0.978	0.5388	0.32	60
DISEÑO MARSHALL									5.5%
MUESTRA	PESO DE MATERIAL PETREO (GRS.)	PESO DE CEMENTO ASFALTICO (GRS.)	CONTENIDO MINIMO	PESO SIN PARAFINA (KG)	ALTURA DE PASTILLA(CM)	PESO CON PARAFINA (KG)	PESO CON PARAFINA EN AGUA	LECTURA DE MAQUINA	MICROMETRO
1	1200	61.2	0.055	0.936	5.5	0.954	0.5373	0.25	115
2	1200	61.2	0.055	0.967	5.5	0.992	0.5488	0.22	108
3	1200	61.2	0.055	0.949	5.3	0.968	0.5417	0.25	97
DISEÑO MARSHALL									6.0%
MUESTRA	PESO DE MATERIAL PETREO (GRS.)	PESO DE CEMENTO ASFALTICO (GRS.)	CONTENIDO MINIMO	PESO SIN PARAFINA (KG)	ALTURA DE PASTILLA(CM)	PESO CON PARAFINA (KG)	PESO CON PARAFINA EN AGUA	LECTURA DE MAQUINA	MICROMETRO
1	1200	67.2	0.060	0.952	5.4	0.97	0.5446	0.25	100
2	1200	67.2	0.060	0.955	5.5	0.975	0.5486	0.25	120
3	1200	67.2	0.060	0.947	5.5	0.964	0.5426	0.3	88
DISEÑO MARSHALL									6.5%
MUESTRA	PESO DE MATERIAL PETREO (GRS.)	PESO DE CEMENTO ASFALTICO (GRS.)	CONTENIDO MINIMO	PESO SIN PARAFINA (KG)	ALTURA DE PASTILLA(CM)	PESO CON PARAFINA (KG)	PESO CON PARAFINA EN AGUA	LECTURA DE MAQUINA	MICROMETRO
1	1200	73.2	0.065	0.934	5.5	0.95	0.5378	0.21	122
2	1200	73.2	0.065	0.954	5.4	0.966	0.5456	0.24	118
3	1200	73.2	0.065	0.968	5.3	0.982	0.5537	0.27	100



Fig.- 8.2.12 – Peso de la pastilla en aire.



Fig.- 8.2.13 – Dimensiones de las pastillas



Fig.- 8.2.14 – Sellado de pastilla con parafina.



Fig.- 8.2.15 – Peso de pastilla con parafina.



Fig.- 8.2.16 – Peso de patilla en agua



fig.- 8.2.17 – Pastillas en baño maria a 60 °c.



Fig.- 8.2.18 – Pastillas sometidas a prueba marshall



fig.- 8.2.19 – Pastillas sometidas a prueba marshall



Fig.- 8.2.20 Y 8.2.21 – DEFORMACION DE PASTILLAS SOMETIDAS A PRUEBA MARSHALL



Fig.- 8.2.20 Y 8.2.21 – DEFORMACION DE PASTILLAS SOMETIDAS A PRUEBA MARSHALL

Tabla.- 8.2.3 -Datos de las pastillas y lectura de la prueba (Marshall) y cálculos.

DATOS DE LA MEZCLA										
ENSAYE	PASTILLA	% C.A. CALCULADO	Especimen + parafina en aire	Especimen sin parafina en aire	Especimen + parafina en agua	Lectura Micrometro (q)	Altura del Especimen (cms)	Factor de Corrección	Flujo en MM	Estabilidad (kg)
1	1	4.00	997.90	951.000	537.10	13.00	5.60	1.20	2.40	1,045.20
	2	4.00	968.00	950.000	547.30	9.90	5.50	1.25	2.50	829.13
	3	4.00	955.00	926.000	518.00	9.20	5.60	1.20	2.20	739.68
2	1	4.50	994.00	916.000	518.00	9.70	5.70	1.19	2.00	773.38
	2	4.50	962.00	941.000	537.10	10.90	5.50	1.25	2.10	912.88
	3	4.50	974.00	946.000	541.50	8.30	5.40	1.32	2.60	734.05
3	1	5.00	1,001.00	980.000	562.50	11.50	5.50	1.25	2.60	963.13
	2	5.00	954.00	924.000	528.10	11.30	5.20	1.39	2.60	1,052.37
	3	5.00	978.00	954.000	538.80	6.00	5.70	1.19	3.20	478.38
4	1	5.50	954.00	936.000	537.30	11.50	5.50	1.25	2.50	963.13
	2	5.50	992.00	967.000	548.80	10.80	5.50	1.25	2.20	904.50
	3	5.50	968.00	949.000	541.70	9.70	5.30	1.35	2.50	877.37
5	1	6.00	970.00	952.000	544.60	10.00	5.40	1.32	2.50	884.40
	2	6.00	975.00	955.000	548.60	12.00	5.50	1.25	2.50	1,005.00
	3	6.00	964.00	947.000	542.60	8.80	5.50	1.25	3.00	737.00
6	1	6.50	950.00	934.000	537.80	12.20	5.50	1.25	2.10	1,021.75
	2	6.50	966.00	954.000	545.60	11.80	5.40	1.32	2.40	1,043.59
	3	6.50	982.00	968.000	553.70	10.00	5.30	1.35	2.70	904.50

OBSERVACION:

La mezcla asfáltica presenta los requisitos de calidad siguiente:

El punto 6.0% de EKBE (PG64-22) se recomienda como contenido óptimo de asfalto.

“SEGÚN NORMA SCT N- CMT-4-05-003/08 PARA UN NUMERO DE EJES EQUIVALENTES MAYOR A UN MILLON Y MENOR A 10 MILLONES.”

CONCEPTO	NORMA SCT.	ENSAYE
ESTABILIDAD	815.8 Kg Mínimo	875.47 Kg
FLUJO	2.0 a 3.5 mm	2.67 mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %	4.32 %
%V.A.M.	15.0 % Mínimo	17.22 %
P.V.M.	SIN NORMA	2,358.72 Kg/m³
%V.A.F.	65 - 75%	74.94 %

TABLA. - 8.2.4-RESULTADOS DEL CÁLCULO MARSHALL (OPTIMO).

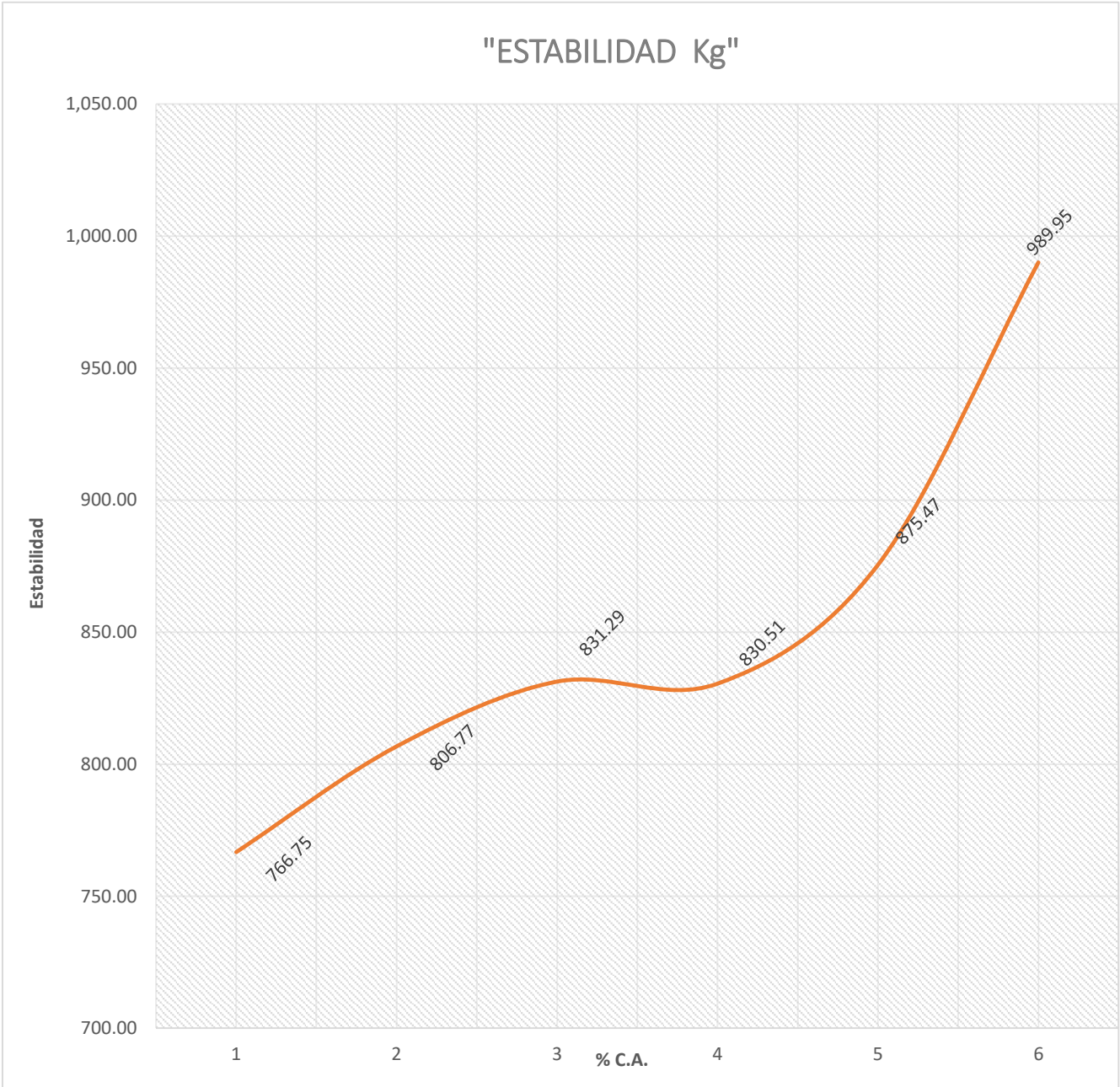
De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba anterior, se concluye lo siguiente:

- ◆ La estabilidad se encuentra dentro del rango conforme a la norma SCT.
- ◆ El flujo se encuentra dentro del rango conforme a la norma SCT.
- ◆ El porcentaje de vacíos se encuentra dentro del rango conforme a la norma SCT.
- ◆ El porcentaje de vacíos de agregado mineral (V.A.M.) se encuentra dentro del rango conforme a la norma SCT.
- ◆ El P.V.M. se considera dentro de los cálculos como aceptable.
- ◆ El porcentaje de vacíos llenos por asfalto (V.A.F.), se encuentra dentro del rango conforme a la norma SCT.

Concluyendo de acuerdo con las condiciones que nos marca la norma de la SCT el porcentaje de 6.0 % es el óptimo porcentaje de cemento asfáltico para nuestra mezcla en caliente de prueba.

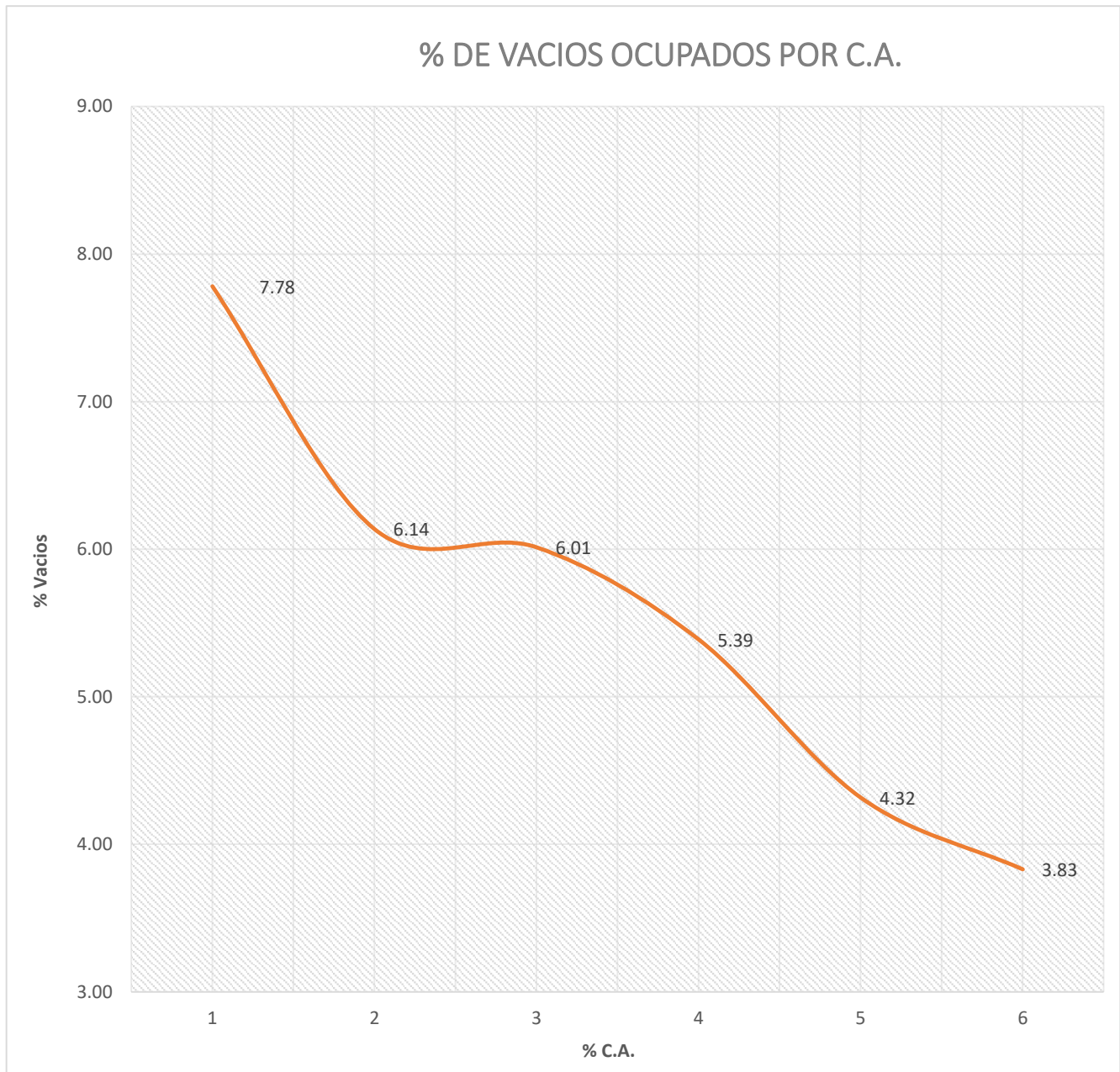
ESTABILIDAD kg/cm ²	
%C.A.	Estabilidad
4.00	766.75
4.50	806.77
5.00	831.29
5.50	830.51
6.00	875.47
6.50	989.95

Grafica 8.2.1.- Grafica de estabilidad de la prueba Marshall



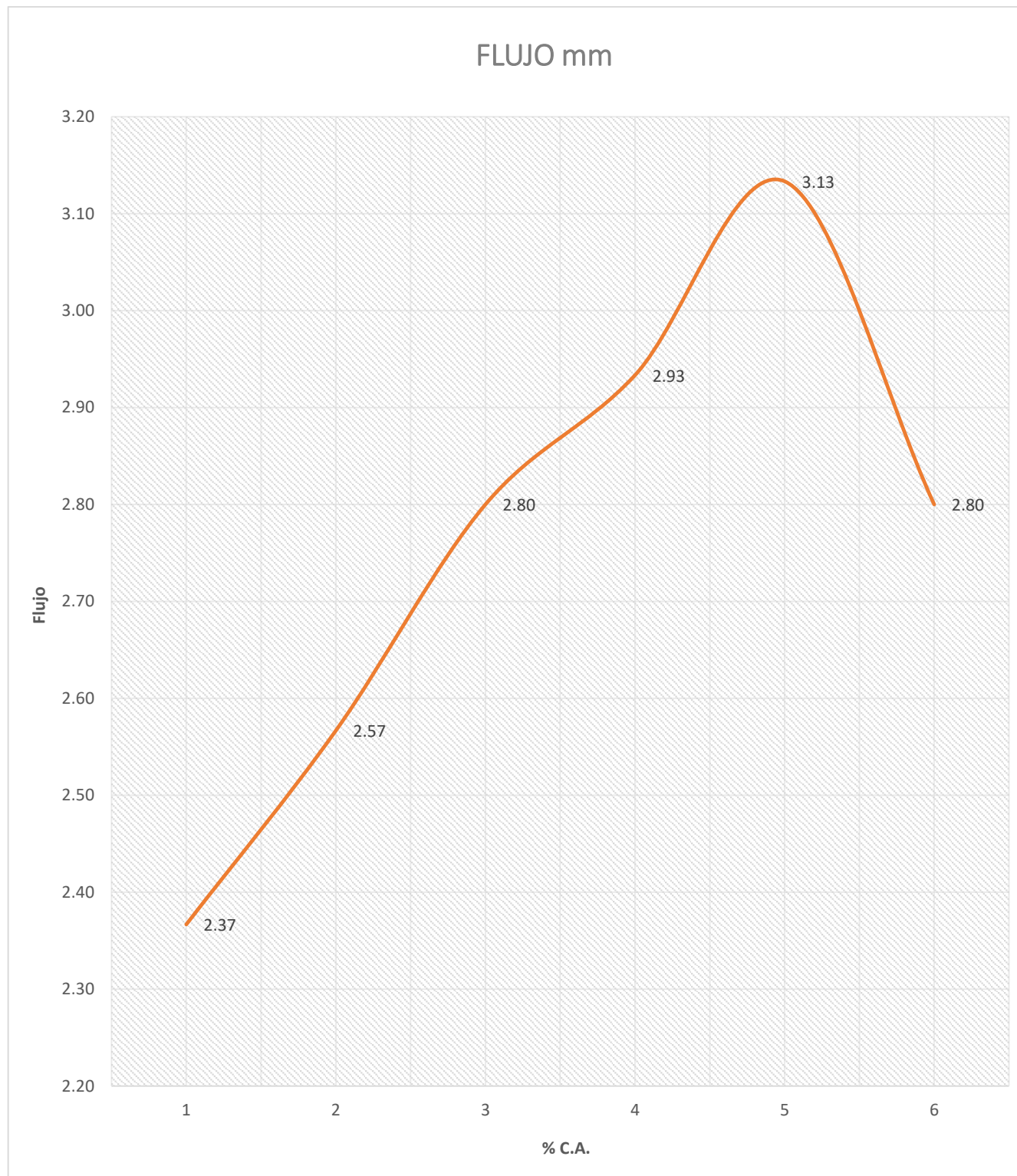
Grafica 8.2.2.- Grafica de vacíos de aire de la prueba Marshall.

%VACIOS	
%C.A.	% de Vacíos
4.00	7.78
4.50	6.14
5.00	6.01
5.50	5.39
6.00	4.32
6.50	3.83



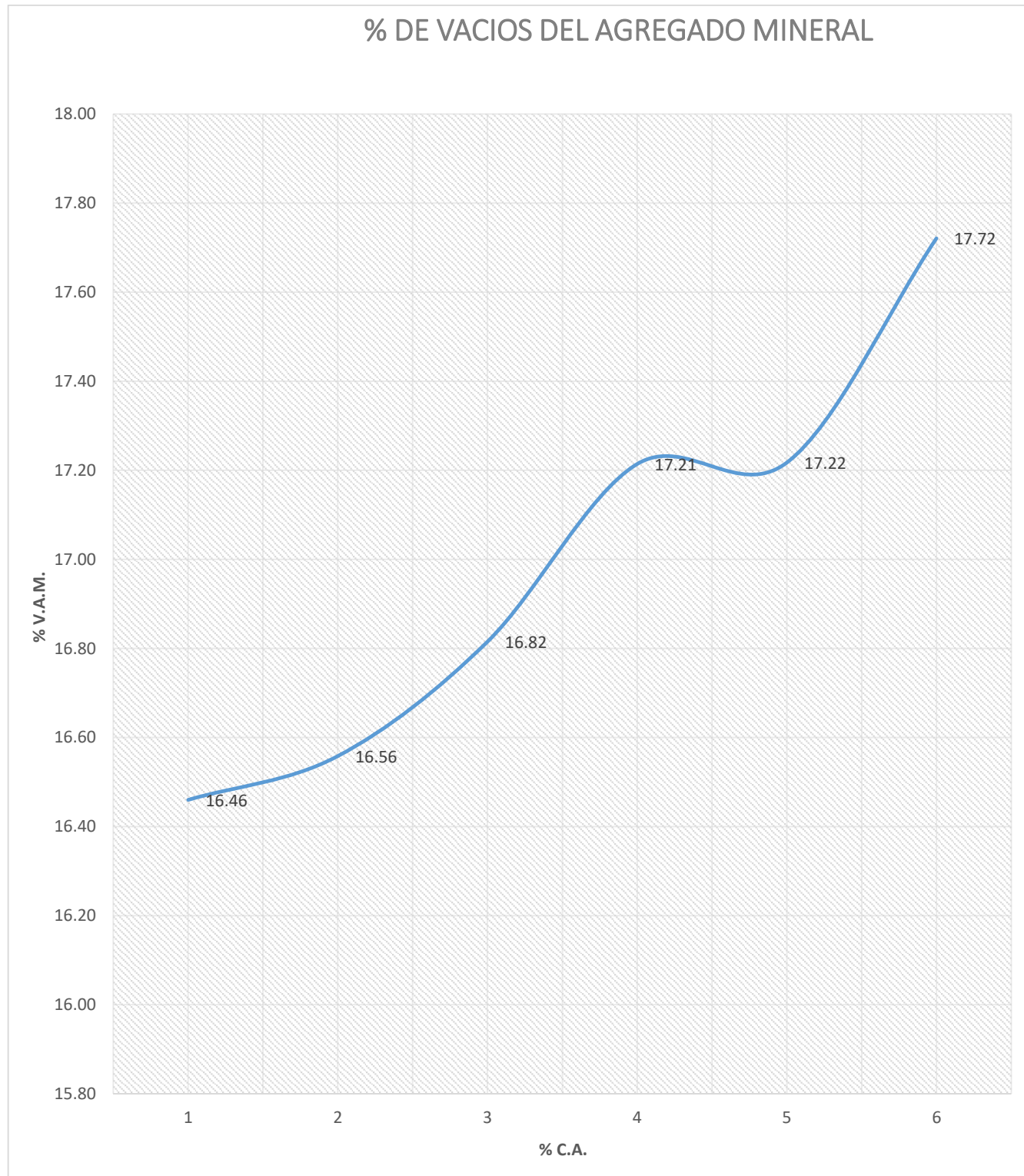
Grafica 8.2.3.- Grafica de flujo de la prueba Marshall.

FLUJO mm	
%C.A.	Flujo mm
4.00	2.37
4.50	2.57
5.00	2.80
5.50	2.93
6.00	3.13
6.50	2.80



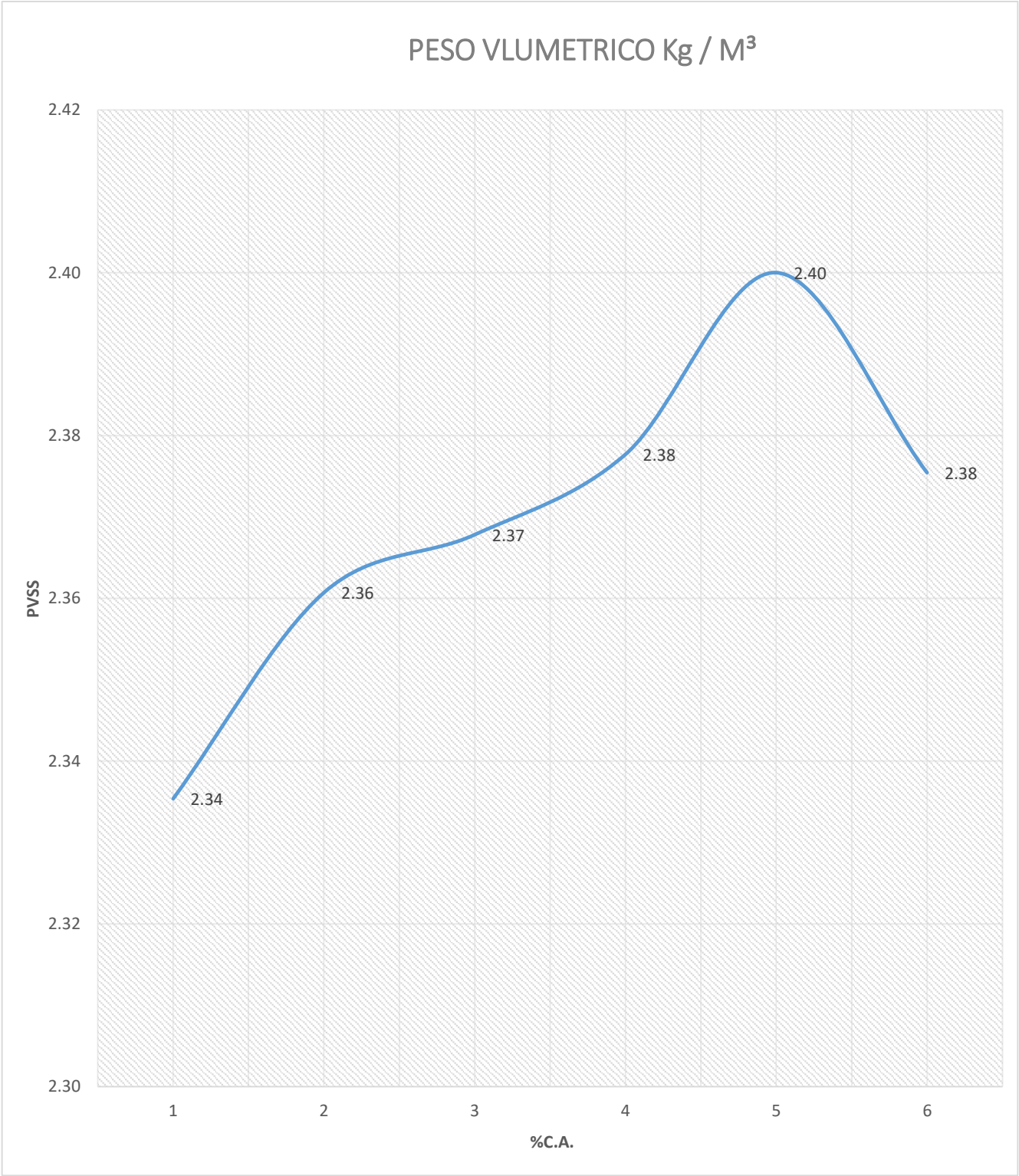
Grafica 8.2.5.- Grafica de vacíos de agregado mineral de la prueba Marshall.

% V.A.M.	
%C.A.	% V.A.M.
4.00	16.46
4.50	16.56
5.00	16.82
5.50	17.21
6.00	17.22
6.50	17.72



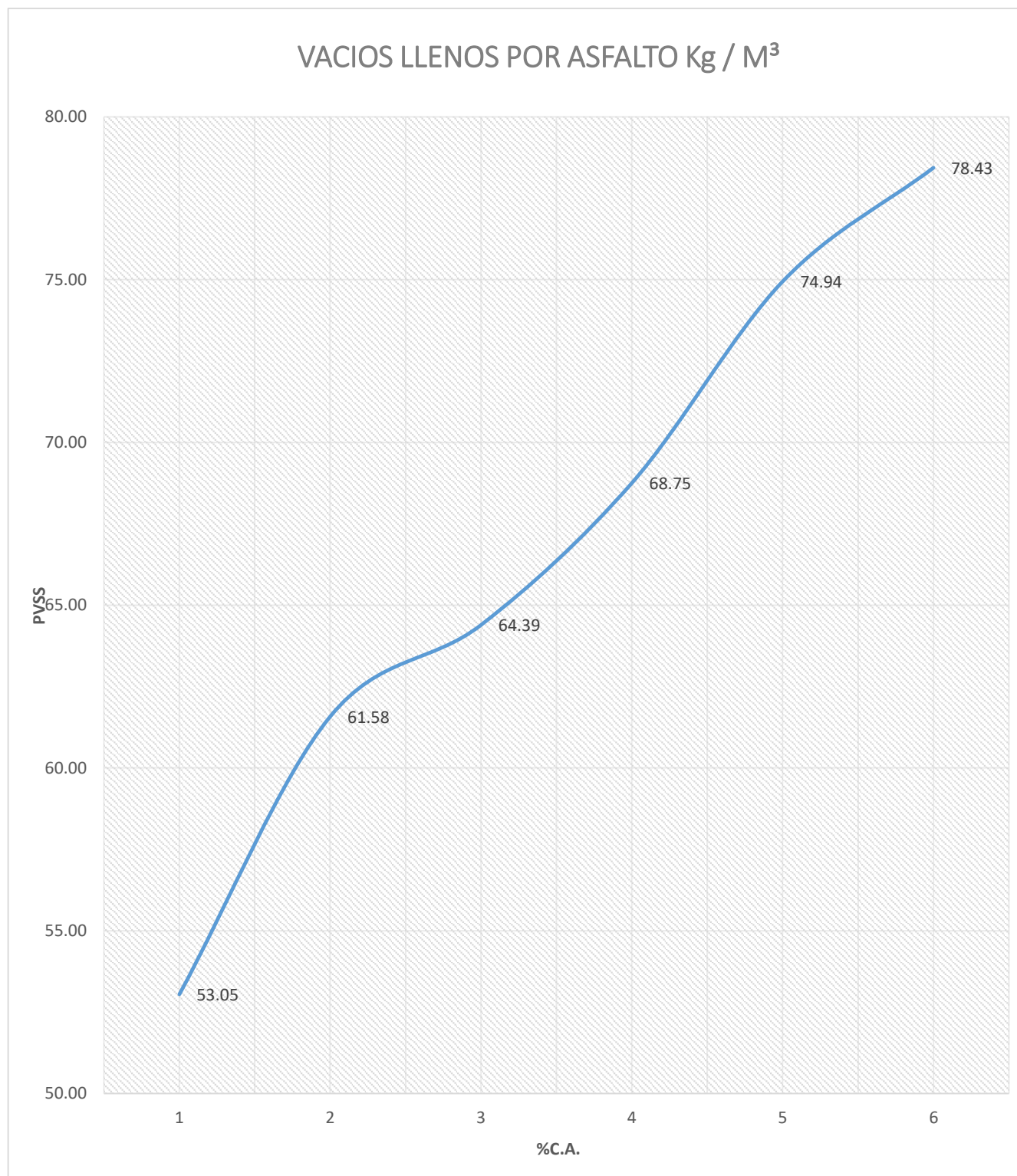
Grafica 8.2.4.- Grafica de pesos volumétrico seco suelto de la prueba Marshall.

P.V.S.S. Kg/m³	
%C.A.	PVSS
4.00	2.34
4.50	2.36
5.00	2.37
5.50	2.38
6.00	2.40
6.50	2.38



Grafica 8.2.4.- Grafica de vacíos llenos de asfalto de la prueba Marshall.

% V.F.A (VACIOS LLENOS POR ASFALTO)	
%C.A.	% VFA
4.00	53.05
4.50	61.58
5.00	64.39
5.50	68.75
6.00	74.94
6.50	78.43



CAPITULO 9.- MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMERO SOMETIDA A CONGELAMIENTO

9.1 INTRODUCCION.

Muchas de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros a comparación de las mezclas asfálticas convencionales, son las que ahora se frecuenta más su uso, ya sea por todas las ventajas que adicionan o los requerimientos de la obra.

Ahora dentro de este capítulo se analizará la mezcla modificada sometida a congelamiento, con el principal objetivo de obtener el comportamiento de la misma y comparar sus ventajas y desventajas.

En el país existen regiones donde las temperaturas son cercanas a los 0 ° C o por debajo. En donde horas del día las temperaturas andan dentro de los 60°C en la superficie de rodamiento o carpeta y en altas horas de la noche se presentan temperaturas cercanas a los 0°C.

Esto afecta al comportamiento del asfalto y es por eso que se pretende estudiar bien este fenómeno en las mezclas asfálticas modificadas para que en futuro se puedan aplicar las reparaciones adecuadas o tener un método para este tipo de cambio de temperatura y el comportamiento del asfalto siga constante.

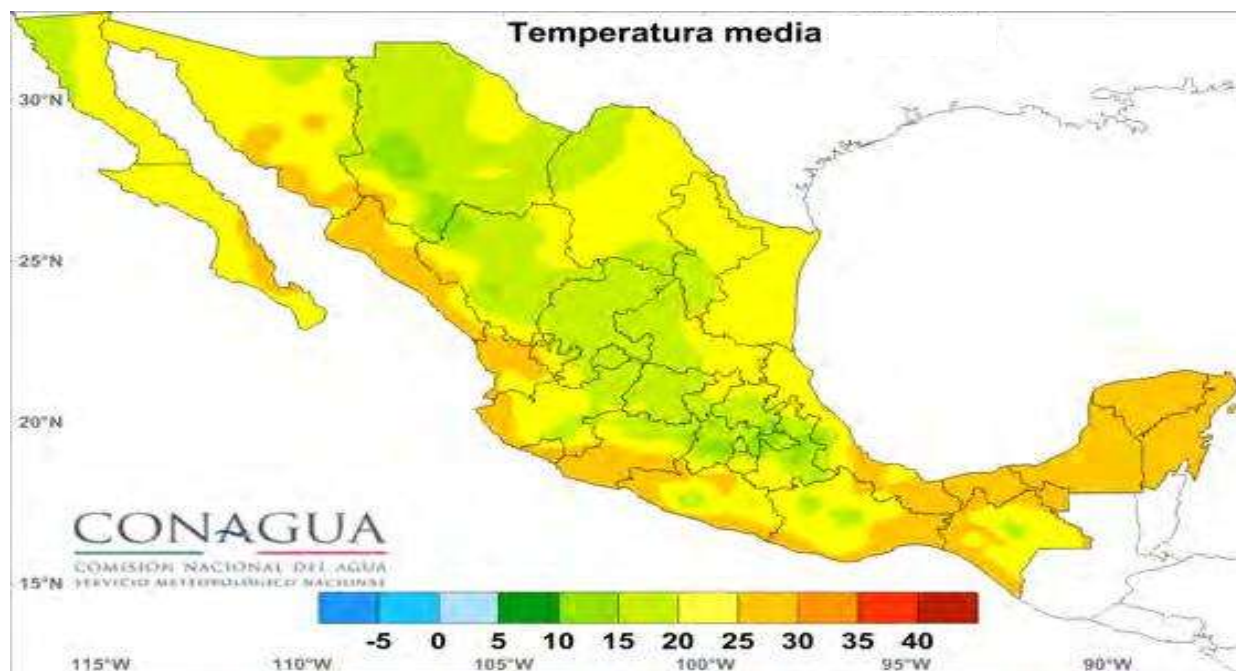


Fig.9.1.1.-Temperatura media anual 2015 (CONAGUA).

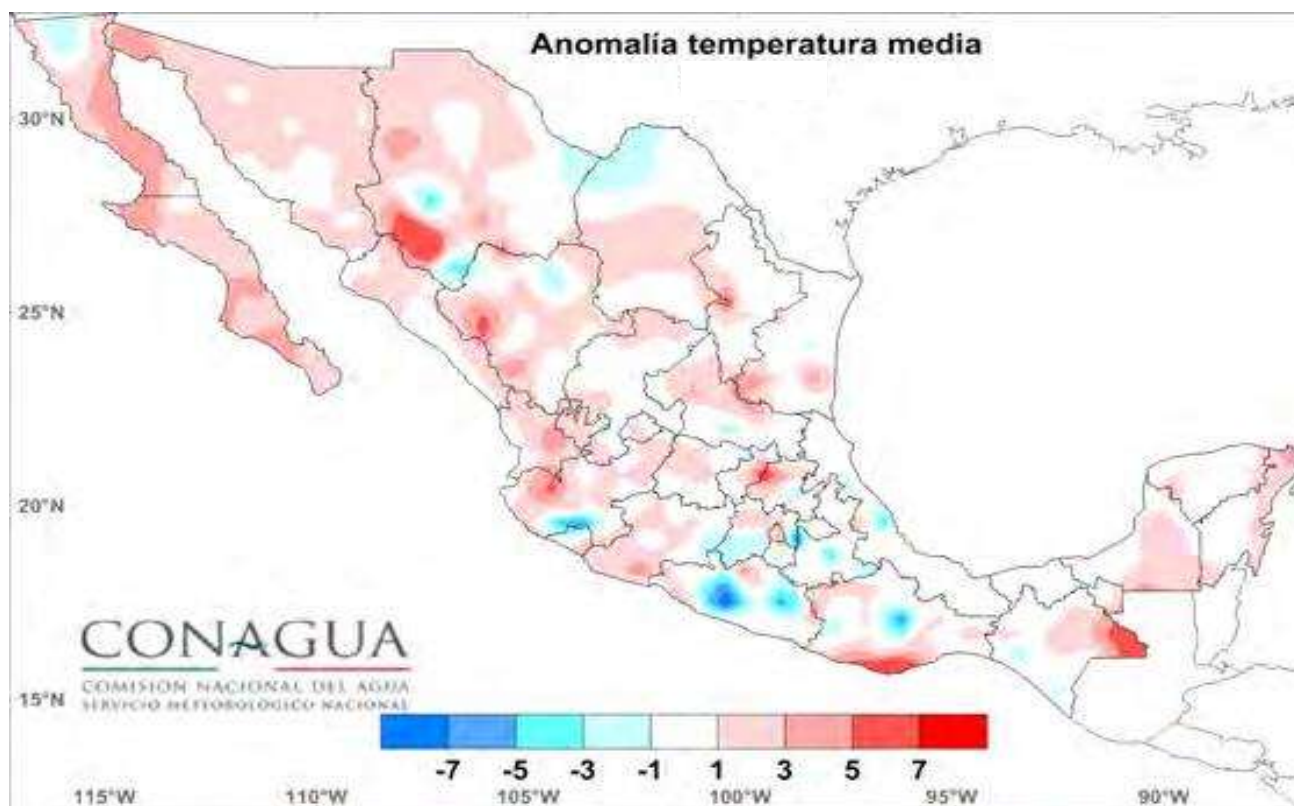


Fig. 9.1.2 -Anomalías de temperatura media anual 2015. Con información disponible en diciembre del 2015 en el Sistema de Información Hidroclimatológica (SIH) de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos-CONAGUA.

9.2 PROCESO Y ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.

Para la elaboración de los especímenes se empleará el método Marshall, con la finalidad de estar dentro de las normas de la SCT y mantener el control de la mezcla asfáltica modificada con un tamaño máximo de agregado pétreo, así como la mezcla asfáltica en caliente.

El procedimiento consiste fundamentalmente en la elaboración de especímenes cilíndricos como se han elaborado con antelación.

Dentro del análisis la estabilidad es un valor de índice de resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada, que es lo que se busca obtener a partir de la resistencia de cada espécimen o pastilla sometida a temperatura de 0°C.

Para la elaboración de estos especímenes se sigue el mismo método de la prueba Marshall, tomando en cuenta que el porcentaje de contenido óptimo de asfalto es de 6.0 %.

- A. Como primer paso se dispone a calentar el material pétreo, el asfalto y los moldes cilíndricos, esto con la finalidad de facilitar el manejo del asfalto y la adherencia con el material pétreo.

- B. Un primer procedimiento es ya calentado el material pétreo a una temperatura aproximada a los 100-150°C, se vierte a una charola y se coloca en el fuego, para mantenerlo a temperatura; mezclando el material pétreo se le adiciona 5 y 10 grs. De caucho molido conforme a un % de la proporción del material fino en el mismo y se mezcla con el contenido de asfalto optimo (6.0%) para concluir con una mezcla homogénea.
- C. Un segundo procedimiento es ya calentado el material pétreo a una temperatura aproximada a los 100-150°C, se vierte a una charola y se coloca en el fuego para mantener la temperatura del material, sin embargo, ahora al cemento asfáltico se le adiciona directamente 10 grs. de caucho molido que va en función con el material fino, esto con la finalidad de hacer una mezcla **C.A. – Caucho**, para después esta misma adicionarla al material pétreo y mezclarlo homogéneamente.
- D. Un tercer procedimiento es ya calentado el material pétreo a una temperatura aproximada a los 100-150°C, se vierte a una charola y se coloca en el fuego para mantener la temperatura del material, y como siguiente paso es mezclar el material pétreo y el contenido de asfalto optimo (6.0%), sin agregar caucho molido.
- E. Teniendo la mezcla homogénea, de los tres procedimientos antes descritos, en donde las partículas de material pétreo estén cubiertas por el asfalto, se procede a vaciar esta mezcla en el molde cilíndrico, llenándolo un aproximado de 2/3 del molde.
- F. Una vez teniendo el molde con la mezcla asfáltica se procede a compactar con la máquina, aplicando una serie de 75 golpes por cada lado de la pastilla.
- G. Aplicado los golpes se desmonta del molde y se dispone a enfriar a temperatura ambiente (25°C ±2).



9.2.1 Calentamiento de moldes y material pétreo.



9.2.2 Calentamiento de material pétreo.



9.2.3.- % de caucho proporcional a material fino.



9.2.4.- Mezcla de material pétreo, A.C. y caucho.



9.2.5.- Vertido de caucho en C.A. proporcional al % de material fino.



9.2.6.- Mezcla de material pétreo, A.C. y caucho.



9.2.7.- Vertido de la mezcla al molde para compactación.



9.2.7.- Compactación de la mezcla.



9.2.8.- Pastillas a temperatura ambiente



9.2.8.- Pastillas a temperatura ambiente

9.3 CONGELAMIENTO DE ESPECÍMENES.

Una vez realizado los especímenes **(Material pétreo – A.C. 20- Caucho molido)**, estos se someten a las diferentes pruebas;

- A) Los primeros 4 especímenes se enfriaron a temperatura ambiente de **(25°C ±2)**.
- B) Los siguientes 4 especímenes se someten a congelamiento a una temperatura de -5° C, durante un tiempo de 24 hrs.
- C) Y los últimos 4 especímenes se someten a congelamiento a una temperatura de -5°C, durante un tiempo de 48 hrs.



9.3.1.- Congelado de las pastillas a temperatura 0°C.



9.3.2.- Resultado de Pastillas sometidas a congelamiento



9.3.3.- Pastillas a temperatura ambiente

6% ASFALTO OPTIMO	5 GRS. CAUCHO A MATERIAL PETREO	10 GRS. CAUCHO A MATERIAL PETREO	10 GRS. CAUCHO A CEMENETO ASFALTICO	
				SIN CONGELAR
				CONGELAMIENTO A 24 HRS.
				CONGELAMIENTO A 48 HRS.

9.3.4.- Acomodo de pastillas para prueba de control

9.4 PROCEDIMIENTO PARA PRUEBA DE ESPECIMENES.

Para la prueba de los especímenes o pastillas se realizó de la siguiente manera:

En los diferentes especímenes sometidos a congelamiento y enfriamiento a temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 2$), se procedió a separar 3 series de 4 especímenes, como en la siguiente figura.

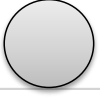
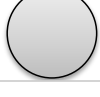
6% ASFALTO OPTIMO	5 GRS. CAUCHO A MATERIAL PETREO	10 GRS. CAUCHO A MATERIAL PETREO	10 GRS. CAUCHO A CEMENETO ASFALTICO	
				SIN CONGELAR
				CONGELAMIENTO A 24 HRS.
				CONGELAMIENTO A 48 HRS.

Figura 9.4.1 Acomodo para realizar la prueba de control del método Marshall (optimo).

Procedimiento

- 1) En la primera serie de 4 especímenes sin congelar, se procedió a realizar la prueba de control, esto de acuerdo a lo especificado en la prueba Marshall, con el fin de obtener los datos necesarios y realizar los cálculos correspondientes para la obtención de la resistencia de las pastillas sin congelar contra las congeladas; y determinar su comportamiento.
- 2) Una vez realizado la prueba de control, se procedió a probar una serie de 4 pastillas sin congelar, en el cual se tomaron las medidas de sus diferentes propiedades (peso de la pastilla con parafina en aire y en agua, y así como sus dimensiones de la muestra), para continuar con la prueba en la máquina de control y obtener los datos de la resistencia de los especímenes y posteriormente realizar los cálculos.
- 3) Como siguiente paso se procedió a probar una segunda serie de 4 pastillas congeladas a 24 hrs., a una temperatura de -5°C , en el cual se tomaron las medidas de sus diferentes propiedades como en el procedimiento del inciso anterior, para continuar con la prueba en la máquina de control y obtener los datos de la resistencia de los especímenes y realizar los cálculos.

- 4) Por último, se procedió a probar la última serie de 4 pastillas congelas a 48 hrs., a una temperatura de -5°C , en el cual se tomaron las medidas de sus diferentes propiedades como en el procedimiento del inciso anterior, para continuar con la prueba en la máquina de control y obtener los datos de la resistencia de los especímenes y realizar los cálculos.

Después de a ver obtenido los datos necesarios de cada serie, se procedió a realizar los cálculos correspondientes para la obtención de la resistencia de las pastillas congeladas y su comportamiento.



Figura 9.4.2. Dimensiones del espécimen



Figura 9.4.3 Peso del espécimen



Figura 9.4.4 y 9.4.5 Especímenes con las diferentes propiedades



Figura 9.4.6. Prueba de especímenes en prensa



Figura 9.4.7. Prueba de especímenes en prensa



Figura 9.4.8. Pastilla con falla aparente sometida a prueba de compresión de esfuerzo.

TABLA 9.4.1 Especímenes sometidos a la prueba de control realizado a temperatura ambiente (25°C ±2) y de acuerdo a las especificaciones del diseño Marshall.

PRUEBA DE CONTROL	ESPECIMEN	Peso Material	contenido mínimo 6%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina
	1	1200	0.060	72	0.970	0.952	0.5446	100	5.4	0.25
	2	1200	0.060	72	0.975	0.955	0.5486	120	5.5	0.25
	3	1200	0.060	72	0.964	0.947	0.5426	88	5.5	0.30

TABLA 9.4.2 Datos de especímenes sometidos a temperatura ambiente (25°C ±2), del método Marshall (optimo).

PRUEBA SIN CONGELAMIENTO	ESPECIMEN	Peso Material	contenido mínimo 6%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina
	1	1200	0.060	72	0	0.952	0	240	5.3	35
	2	1200	0.060	72	0	1.005	0	160	5.55	55
	3	1200	0.060	72	0	1.047	0	230	5.325	55
	4	1200	0.060	72	0	1.057	0	200	5.325	60

TABLA 9.4.3 Datos de los especímenes congelados a 24 hrs. del método Marshall (optimo).

**A 24 Hrs. De
Congelamiento.
(0° C)**

ESPECIMEN	Peso Material	contenido minimo 6%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina
1	1200	0.060	72	0	0.961	0	405	5.325	170
2	1200	0.060	72	0	1.025	0	420	5.050	185
3	1200	0.060	72	0	1.067	0	85	5.375	195
4	1200	0.060	72	0	1.077	0	280	5.375	185

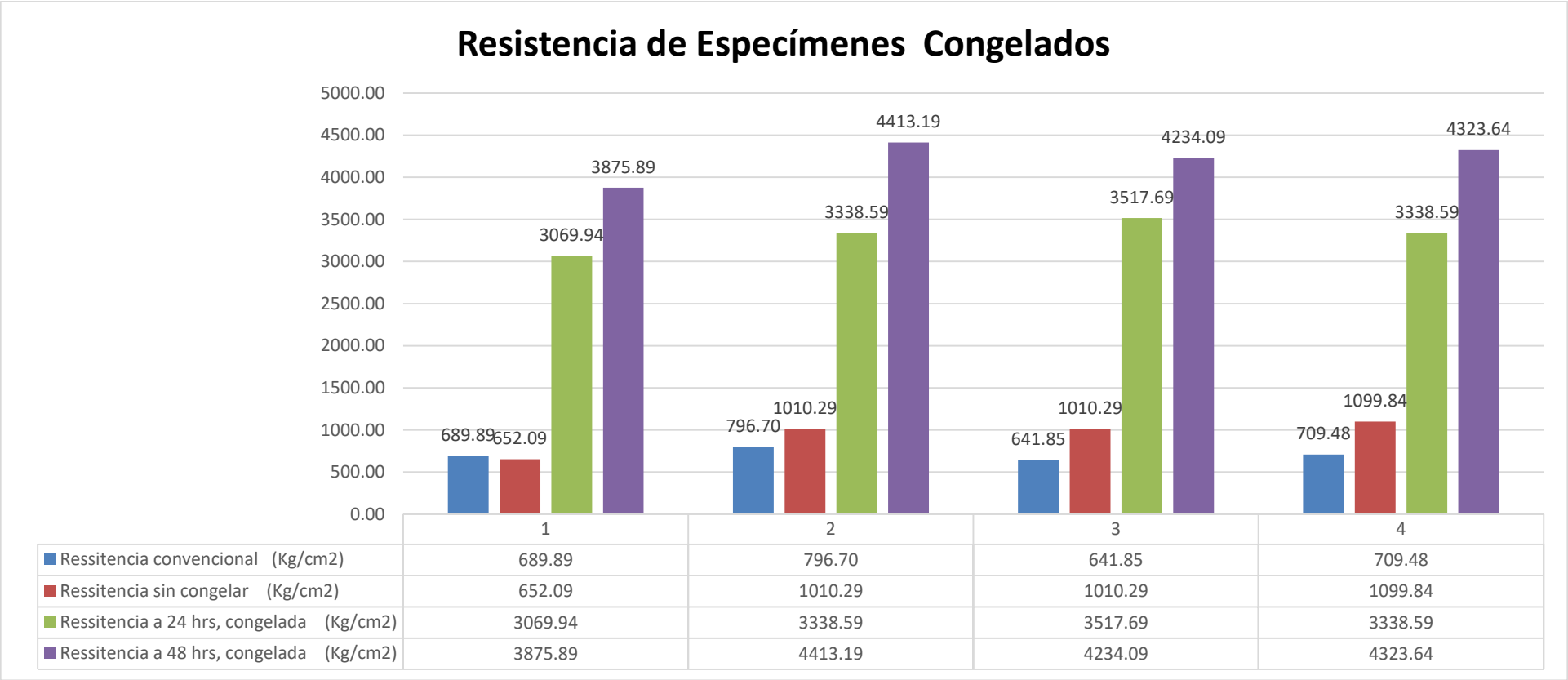
TABLA 9.4.4 Datos de los especímenes congelados a 48 hrs. del método Marshall (optimo).

**A 48 Hrs. De
Congelamiento.
(0° C)**

ESPECIMEN	Peso Material	contenido minimo 6%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina
1	1200	0.060	72	0	0.959	0	150	5.305	215
2	1200	0.060	72	0	1.015	0	245	5.255	245
3	1200	0.060	72	0	1.077	0	200	5.405	235
4	1200	0.060	72	0	1.072	0	210	5.275	240

9.5 RESISTENCIA DE ESPECÍMENES.

A continuación, en la gráfica siguiente se observan las resistencias obtenidas en el cálculo, para los especímenes de la prueba de control, sometidos a congelación a -5°C durante un periodo de 0hrs., 24 hrs, y 48 hrs. respectivamente.



Grafica 9.5.1.- Grafica de resistencia de los especímenes congelados.

9.6 COMPARATIVO ESPECÍMENES

Como primer punto de comparación es el cambio de resistencia obtenida al añadir el polímero modificador (Caucho molido), a la mezcla convencional, ya que el promedio de la resistencia convencional de 709.48 kg/cm² contra 943.13 kg/cm² de la mezcla modificada con polímero, es muy notorio su cambio, dando un aumento de un 132.93 % en cada Kg/cm².

De acuerdo a los resultados obtenidos en los especímenes congelados adicionados con polímero (caucho molido), contra la muestra de control; es notorio que los especímenes congelados con polímero modificador aumentan su resistencia un **593.63%** aproximadamente en cada kg/cm², ya que el promedio de resistencia de la prueba de control es de **709.48** kg/cm² y el promedio de los especímenes congelados es de **4211.70** kg/cm².

Esto se debe a que los vacíos que tiene las muestras en su interior se rellenan por la congelación y el adicional de los polímeros, lo cual, provoca que las pastillas funcionen como si fuera una sola pieza, lo que repercute en que no haya vacíos por donde empiece a fracturarse y falle la muestra.

Sin embargo, la nueva propiedad que tomo el espécimen al funcionar como una sola pieza solida por estar completamente congelada, demostró que a la hora que llegaba a su punto máximo de resistencia, se fracturaba y empezaba a descender el valor hasta llegar al punto cero, lo cual no sucede con la prueba de control, ya que esta llegaba a su punto máximo y empieza a de descender su resistencia con una tendencia gradual.

CONCLUSIONES GENERALES

Aquí, se dieron a conocer los materiales que se pueden usar, para modificar los asfaltos convencionales. Como se hizo notar, estos materiales nombrados, logran un cambio significativo en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas. El uso de cualquiera de estos depende en gran medida del juicio del proyectista, el cual debe basarse en un criterio objetivo, desde la perspectiva técnica; sin embargo, es importante recordar la responsabilidad que conlleva el uso de algunos materiales, pues como se remarcó en el trayecto de la investigación de este trabajo, estos representan, además de las ventajas que imputan, algunos inconvenientes ecológicos, de riesgo y salud que no se deben minimizar.

Es sabido que las empresas dedicadas a la fabricación de los aditivos de asfalto, son en su mayoría extranjeras, punto que no se debe restar importancia, pues su experiencia está basada en condiciones climáticas extraordinariamente diferentes a las que se presentan en nuestro territorio nacional. A partir de esto, es necesario decir que la zona más hostil, en lo referente a su clima, es la zona norte de México; y posiblemente es la más necesitada del uso de los modificadores de asfalto, lo que ya es notorio en la actualidad.

Concluyendo específicamente la investigación de este trabajo, se determina que en la elaboración de los especímenes tiene tres factores importantes que son: el agregado pétreo, el asfalto y el polímero modificadorio.

Por la parte del Agregado Pétreo, podemos decir que cumple con las características de las especificaciones para México. Ya que en esta muestra que se utilizó para el estudio nos da como resultado buena granulometría, con una absorción tipo media, y por consecuencia de esta porosidad su desgaste es del 21.40% que está dentro de lo que especifica la norma que dice que como máximo debe tener un 30%. Por lo que estos dos factores influyen directamente en la mezcla asfáltica haciendo del contenido mínimo sea mayor de 4% que es el estándar a un 6%. Concluyendo esto se define que se puede utilizar el agregado pétreo para las mezclas asfálticas para efectos de construcción y diseño de mezclas asfálticas.

Y por otra parte el Cemento Asfáltico que se utilizó en estos especímenes fue el EKBE 64 - 22 de la refinería de Salamanca Guanajuato, el cual, por la calidad del mismo por ser un producto de venta avalado, se utilizó en las diferentes pruebas realizadas, sin embargo, para estudios de esta investigación se le realizaron las pruebas de calidad necesarias para comprobar que se encontrara dentro de las normas vigentes de la SCT, dentro de las cuales, se encontró baja el punto de reblandecimiento ya que este se encuentra en 47° C y por norma debe de estar mayor o igual a 60° C, de lo cual este cemento asfáltico se puede utilizar para mezclas asfálticas.

El último factor y no menos importante, el polímero modificadorio, que para este caso fue el caucho molido; el cual fue uno de los más importantes modificadores para esta prueba, ya que, por ser un material externo a la mezcla convencional, nos arrojó más resistencia dentro de los estándares normales, por lo que se concluye que este material por ser de tipo polímero

grado fino, apoyo a la mezcla a llenar los vacíos y se obtuvo mayor adherencia del asfalto con el material pétreo.

Estudiados los factores de la mezcla asfáltica modificada con un polímero sometida a congelamiento, puedo definir que los resultados fueron variados a los que se esperaban inicialmente, ya que se pensaba que al someterla a congelación la resistencia resultaría menor, lo cual fue totalmente lo contrario, sin embargo, en las pruebas y comparando resultados de las mezclas convencionales sometidas a congelamiento, se determinó que la mezcla en apoyo del polímero modificador al llegar al punto máximo de resistencia, la falla fue descendiendo gradualmente haciendo que nos dé más holgura de tiempo para repararla y determinar un pavimento más flexible, resistente y duradero.

Concluyendo, si es necesario el uso de los modificadores de asfalto, se debe elegir de forma cautelosa el material o producto a emplear, tomando en cuenta todas y cada una de las características que hacen de una obra civil una estructura productiva en todos los sentidos.

BIBLIOGRAFIAS Y REFERENCIAS

Varios autores; Conferencia: Los asfaltos modificados, mitos y realidad; Asociación Mexicana del asfalto A.C. México 2003.

Título: Asfaltos; manual de bolsillo para ingenieros de caminos, autor Prevost hubbard, editor D.F. Dirección nacional de caminos, S.C.O.P., 1942.

Varios autores; Memorias del octavo congreso ibero americano del asfalto volumen I y II, Asociación Mexicana del Asfalto A.: México 1995.

Ing. Rafael A. Limón Limón; Determinación de la calidad de los asfaltos modificados en campo; Asociación Mexicana del Asfalto A.: México 2004.

Dr. Carlos Fonseca Rodriguez, M. Claudia L. Martínez Bringas; Artículo técnico Empleo de fibras en la elaboración de mezclas asfálticas para pavimentos de graduación abierta, cuadernillo 33; Fundación I.C.A., México 2004.

Manual de asfalto, Ing. Manuel Velázquez., CTM. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES. (N-CMT-4-04/08), Parte. - 4.- materiales para pavimentos. Título. - 04.- materiales pétreos para mezclas asfálticas

Mmp. Método de muestreo y prueba de materiales. (m-mmp-4-04-002/02), Parte. - materiales para pavimentos, Título. - materiales pétreos para mezclas asfálticas, Capítulo. - granulometría de materiales pétreos para mezclas asfáltica

MMP. - METODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (M-MMP-4-04-004/02), Capítulo. - densidad relativa de materiales pétreos para mezclas asfálticas

METODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (M-MMP-4-04-004/02), Capítulo. - equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas

METODO DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (M-MMP-4-04-006/002), Capítulo. - desgaste mediante la prueba de los Ángeles de materiales pétreos para mezclas asfálticas

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL MATERIALES ASFALTICOS (MANUAL DE PRUEVAS).

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, LABORATORIO DE MATERIALES "ING. LUIS SILVA RUELAS". (SECCION DE MATERIALES ASFALTICOS).

Tesis de licenciatura "análisis comparativo del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica elaborada en caliente por el método Marshall con sustitución de agregados finos por cemento portland"; José César Díaz Benjamín.

Reporte del Clima en México Anual 2015 (CONAGUA), Coordinación General del servicio Meteorológico Nacional, Gerencia de Meteorología y Climatología, Subgerencia de Pronósticos a Mediano y Largo Plazo.
(<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2014.pdf>)