



**UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS
MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN
CALIENTE INCORPORANDO HULE MOLIDO. “**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

P.I.C. VICTOR MANUEL MAGALLAN OLIVARES

ASESOR:

DOCTOR EN INGENIERIA CIVIL: MARIO SALAZAR AMAYA

Morelia, Mich. Noviembre del 2014



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 09 de Septiembre de 2014

C. VICTOR MANUEL MAGALLAN OLIVARES
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 "ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO HULE MOLIDO.", mismo que será asesorado por el profesor Mario Salazar Amaya.

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

A T E N T A M E N T E

JOAQUIN CONTRERAS LOPEZ
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 03 de Noviembre de 2014

C. VICTOR MANUEL MAGALLAN OLIVARES
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 "ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO HULE MOLIDO." 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.

A.T E N T A M E N T E

JOAQUIN CONTRERAS LOPEZ
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil



Victor Manuel Magallan Olivares

AGRADECIMIENTOS:

El haber llegado a terminar una de mis metas más deseadas en mi vida, quisiera agradecer a todos los que me apoyaron para que esto se pudiera hacer realidad.

A DIOS

Por darme vida, salud, fortaleza y sabiduría para afrontar los obstáculos,
Y ahora culminar mis estudios Universitarios.

A MIS PADRES

Por todo el amor y el apoyo que me brindaron durante toda mi formación.

A MIS HERMANOS

Por ser parte de mí familia, por recordarme de terminar mi profesión.

A TODA MI FAMILIA

Por darme muchos ánimos para cumplir con esta meta.

A MIS MAESTROS

Que supieron darme la formación y sabiduría profesional.

ÍNDICE	PÁGINA
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPITULO 1: ANTECEDENTES	
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 2: ESTUDIO DEL MATERIAL PÉTREO.	
2.1. INTRODUCCIÓN.....	7
2.2. IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN.....	12
2.3. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (P.V.S.S).....	15
2.4. GRANULOMETRIA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	18
2.5. PRUEBAS DE DENSIDAD RELATIVA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ABSORCIÓN.....	24
2.6. EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	27
2.7. DESGASTE MEDIANTE LA PRUEBA DEL DESGASTE DE LOS ÁNGELES.....	31
2.8. RESUMEN DE RESULTADOS.....	34
2.9. CONCLUSIONES.....	35
CAPITULO 3: ESTUDIO DEL CEMENTO ASFÁLTICO.	
3.1. INTRODUCCIÓN.....	36
3.2. DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20.....	37
3.3. PRUEBA DE PENETRACIÓN EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.....	38
3.4. PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.....	41
3.5. PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.....	43
3.6. PRUEBA DE DUCTILIDAD EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.....	45
3.7. RESUMEN DE RESULTADOS.....	47
3.8. CONCLUSIONES.....	48

CAPITULO 4: DISEÑO DE LA MEZCLA

4.1. INTRODUCCIÓN.....	49
4.2. MÉTODO MARSHALL.....	55
4.3.- TABLA DE CALCULO DEL MÉTODO MARSHALL.....	69

CAPITULO 5: INCORPORACIÓN DE HULE MOLIDO

5.1. INTRODUCCIÓN.....	73
5.2. EMPLEO DEL HULE MOLIDO EN EL ENSAYE MARSHALL.....	77
5.3.- PESO DE LAS PASTILLAS MAS PARAFINA EN EL (AIRE).....	80
5.4.- PESO DE LAS MUESTRAS MAS PARAFINA EN EL (AGUA).....	81
5.5.- PRUEBA MARSHALL CON ADICIÓN DE POLVO DE NEUMÁTICO.....	83
5.6.- TABLA DE CALCULO DEL MÉTODO MARSHALL CON INCORPORACIÓN DE HULE MOLIDO.....	85
5.7.- CONCLUSIONES GENERALES.....	90
5.8.- BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXO.....	93
ANEXO.....	96

PRESENTA:

VICTOR MANUEL MAGALLAN OLIVARES

ingvictormagallan@hotmail.com

ASESOR:

DR. MARIO SALAZAR AMAYA

mariosalazar02_@hotmail.com

RESUMEN

El hombre en cuanto a una célula social elemental, siente la necesidad de las comunicaciones, para buscar los medios de sustento y entrar en relación con sus semejantes y, cuando las agrupaciones humanas van madurando y llegan a adquirir cierta importancia social, a estas necesidades de la sociedad se une la aspiración colectiva de la expansión exterior, comercial y cultural.

México se encuentra actualmente construyendo toda una extensa red de caminos, desde los de cuota, de altas especificaciones, hasta los más modestos caminos vecinales.

Es interesante recorrer, la evolución de los caminos en México, desde la época precortesiana, hasta nuestros días; se puede a través de ello tener una idea de cada uno de estos momentos de nuestra historia y nos servirá además para comprender mejor el esfuerzo creador enorme que hace la nación, destinando una buena parte de sus recursos a la construcción de caminos.

En esta investigación se hablara del mejoramiento de una mezcla asfáltica modificada con hule molido y de sus diferentes partes que la conforman a la que se le hacen una serie de pruebas de laboratorio para conocer sus propiedades. Donde el objetivo es que resista más elasticidad, más resistencia al agrietamiento, un mayor periodo de vida y un mínimo de mantenimiento, para evitar el mal servicio al transcurrir sobre ella.

PALABRAS CLAVES: MEZCLAS, ASFALTO, HULE, RECICLADO Y PETREO.

ABSTRACT

Man as an elementary social unit, feels the need of communications, to seek livelihood and enter into relationships with peers and human groups when they mature and come to acquire some social importance, these needs society collective aspiration of foreign, trade and cultural expansion joins.

México is currently building an extensive network of roads across from the quota, high specification, even the smallest roads.

It is interesting to explore the evolution of the roads in Mexico, from the pre-Columbian era to the present day; you can through it to get an idea of each of these moments in our history and we also serve to better understand the enormous creative effort that makes the nation, devoting much of its resources to build roads.

In this research spoke of improving a modified asphalt mixture with ground rubber and its various constituent parts which will become a series of laboratory tests to know their properties. Where the goal is to resist more flexibility, more resistance to cracking, a longer period of life and minimal maintenance to avoid disservice to spend on it.

KEY WORDS: blends, asphalt, RUBBER, RECYCLING AND STONY.

CAPITULO 1: ANTECEDENTES

1.1.- INTRODUCCIÓN

Cuando los conquistadores españoles llegaron a lo que hoy constituye el territorio nacional, encontraron que sus pobladores no tenían conocimiento de la existencia de la rueda ni de animales de tiro y carga, pero a pesar de ello, disponían de un buen número de caminos hechos de piedra.

La historia nos ha dejado constancia de que aquellos aborígenes que con tanto interés se dedicaron a la construcción de caminos, también se preocuparon por la conservación de ellos, emitiendo leyes sobre la manera y época que debían repararse, en el curso del año cooperaban también todos los habitantes a la conservación de caminos, con la excepción de los guerreros, los magistrados y otros altos magistrados.

La colonización de la Nueva España trajo como consecuencia lógica un sensible mejoramiento de los caminos ya existentes y la apertura de muchos más, la introducción de animales de tiro y carga originaron las primeras modificaciones a los caminos existentes.

Por otra parte, la comunicación de la Nueva España con sus puertos marítimos, requería la construcción de caminos adecuados, en 1522 Cortes encomendó a Álvaro López la apertura de un camino entre México y Veracruz, mismo que fue el más importante durante la colonia.

Al finalizar la colonia, México contaba ya con una extensa red de caminos carreteros y de herradura, que sumaban, si nos hemos de tener a cifras históricas, 7,605 y 19,720 km, respectivamente, variando su estado de conservación de acuerdo con su importancia.

El 19 de Noviembre de 1867 el presidente de la república el Lic. Benito Juárez, creó un impuesto dedicado a la conservación de caminos, sustituyendo al de "peaje".

La revolución Mexicana, iniciada en 1910, provocó en el país una conmoción profunda, que por largos años impidió la realización de todo intento de carácter constructivo.

Hasta el momento la aparición del automóvil, la curvatura, las pendientes y las superficies de rodadura de los caminos, eran las adecuadas a las limitadas exigencias de los vehículos de tracción animal, pero conforme se desarrolló el automóvil de pasajeros y la aparición de los camiones, ambos con velocidades y

capacidades de carga desconocidas hasta entonces, exigieron caminos con diferente alineamiento, y con pendientes y superficies de rodamiento adecuadas.

El Porfiriato

En este período se construyen más de 19 mil Km. Los pocos caminos reales, de carreteras en este periodo se trazaron únicamente los tramos de Oaxaca, Tehuacán, Puerto Ángel y el de Tula Cd. Victoria. La creación de tantas vías férreas era para servir exclusivamente a la exportación de los productos mineros, agrícolas y ganaderos que producía el país, para llevarlo al vecino país del norte. En 1898, con esta secretaría se hace el primer intento de controlar las anárquicas concesiones ferrocarrileras y ponerle atención a los caminos. Además se dicta una ley que encargaba a los estados la reparación y conservación de los caminos.

Venustiano Carranza

El 25 de Diciembre de 1917, expide una ley para comunicaciones y obras públicas que obligaba a la construcción de los caminos carreteros y la inspección de los privados. El 2 de Noviembre de 1924, es inaugurada la calzada que une la Ciudad de México con el poblado de San Ángel, hoy Av. de los Insurgentes.

Los impuestos a la gasolina

El 30 de Noviembre de 1924, asume la Presidencia de la República, Plutarco Elías Calles es considerado como el constructor del “México Moderno” a él se le debe la ley donde dice que se fija un impuesto de tres centavos por litro de gasolina para ser aplicado a construcción de nuevos caminos, así se crea la nueva Comisión de Caminos, integrada por los Ingenieros. León Salinas, Guillermo Beltrán y Puga, y Pascual Luna Parra.

Hoy en día la red carretera nacional, que se ha desarrollado a lo largo de varias décadas, comunica casi todas las regiones y comunidades del país. Algunas carreteras están a cargo del gobierno federal y constituyen los corredores carreteros, que proporcionan acceso y comunicación a las principales ciudades, fronteras y puertos marítimos del país y, por lo tanto, registran la mayor parte del transporte de pasajeros y carga. Algunos tramos son libres, es decir que circular por ellas no tiene costo, otras son de cuota, en las que se debe pagar un peaje para utilizarlas. En este año se tienen construidos 355,796 km de carreteras libres y de cuota.

Sin embargo las carreteras no están bien construidas y tempranamente se deterioran generándose baches o grietas que provoca un mal servicio al público ya sea porque la base, la sub-base o la carpeta asfáltica no están bien construidas. De ahí que me doy a

la tarea de elaborar esta investigación para proponer una solución a este problema basándome solamente a la carpeta asfáltica teniendo en cuenta que las demás fases o capas estén posteriormente bien construidas.

Lamentablemente la economía mexicana se encuentra en una parte del ciclo económico que se denomina recesión, (todas las economías del mundo pasan por ciclos sucesivos de auge y recesión) por lo que es muy difícil aportar más presupuesto destinado a la construcción de carreteras para su posible mejoramiento.

Esperando ese salto de nuestro país e incrementando el presupuesto a la construcción de carreteras yo propongo esta investigación basándome en el mejoramiento de una **mezcla asfáltica en caliente de granulometría densa** modificada con hule molido o caucho molido de llanta reciclada y esperando aplicarla en un futuro no muy lejano que es lo que se desea.

En los capítulos presentes en esta tesis se hablara y se hará un análisis de los principales partes que conforma una carpeta asfáltica como es el material pétreo y el cemento asfáltico y agregándole el neumático molido sabremos los resultados analizados que nos resulten.

En el capítulo 2 se hará un análisis de las características físicas del Material pétreo que será utilizado en la conformación de la mezcla asfáltica, dichas características son de suma importancia ya que de ello dependerá la resistencia estructural de nuestra carpeta asfáltica.

Material pétreo

El material pétreo es la base principal de la carpeta ya que depende de que tan resistente es, así será la resistencia estructural de la carpeta asfáltica por lo que se hará un análisis de las características físicas del material a utilizar. Se utilizara un material de tipo granular natural que no requiere ningún tipo de trituración ni cribado parcial que pueda eliminar los tamaños mayores a lo especificado, ya que se obtuvo con su respectiva granulometría para su uso en carpeta asfáltica señaladas en las normas.

El material se obtuvo del banco llamado "Trituradora Grupo de Oro" que se encuentra ubicado en la comunidad de Cuto del Porvenir del municipio de Tarimbaro Michoacán. A este material se les hará varias pruebas de laboratorio tales como el peso volumétrico seco suelto, densidad, absorción, desgaste, adherencia con el asfalto, granulometría, entre otras. Para saber las características físicas de este material.

Para una buena carpeta asfáltica el material debe de cumplir con algunas características muy importantes como es que no debe de tener ningún tipo de materia orgánica que al paso del tiempo genere problemas en la carpeta, claro tener la

resistencia suficiente, que no se rompa con los equipos de compactación y que el tamaño máximo del agregado no debe ser mayor de $\frac{2}{3}$ del espesor de la carpeta. Y algunas otras más como; Los agregados pétreos no deberán tener más del 20 % de fragmentos suaves, tener suficiente resistencia para soportar, sin romperse, las cargas aplicadas por los equipos de compactación.

que se utilizaran en la construcción de carpetas de mezcla asfáltica o en tratamientos superficiales. 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

En el capítulo 3 se determinaran las características primordiales de los productos Asfálticos empleados para la elaboración de la mezcla asfáltica.

Hay diversos tipos de productos de diferentes características y cada uno de ellos tiene su campo de acción definido.

Cemento asfáltico

El betún o bitumen es una mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, negra, pegajosa, completamente soluble en desulfuro de carbono y compuesta principalmente por hidrocarburos.

El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. También es utilizado en impermeabilizantes. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de bitumen. También se encuentra en estado natural en lagunas de algunas cuencas petroleras pero a pesar de la fácil explotación y excelente calidad del asfalto natural, no suele explotarse desde hace mucho tiempo ya que, al obtenerse en las refinerías petroleras como subproducto sólido en su fragmentación que se produce en las torres de destilación, resulta mucho más económica su obtención de este modo.

Los asfaltos están constituidos principalmente por tres ingredientes que son: aceites, asfáltenos y resinas. De estos los asfáltenos son los que le proporciona la dureza, las resinas las propiedades cementantes y los aceites la plasticidad del asfalto.

La consistencia de los asfaltos depende de la proporción de cada uno de los ingredientes. Cuando los asfáltenos son en mayor cantidad ósea que predominan y las resinas son bajas se tiene un asfalto duro. Y cuando predominan los asfáltenos y las resinas y el contenido del aceite es bajo, se tienen los cementos asfálticos, por eso mientras sea menor la proporción del aceite, la dureza del asfalto es mayor, y viceversa.

En el capítulo 4 se determinara la cantidad necesaria de cemento asfáltico para cubrir la totalidad de partículas de material pétreo y se realizaran las pruebas de resistencia a mezclas asfálticas por el método Marshall.

El contenido mínimo de asfalto para cubrir totalmente las partículas de material pétreo es un cálculo necesario que va en función de las características físicas del agregado mineral.

El método Marshall está limitado al proyecto y control de calidad de mezclas asfálticas realizadas con cemento asfáltico. Con los valores Marshall se determina los valores de estabilidad y flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado a una temperatura de 60° C.

En el capítulo 5 se hará una comparativa de los resultados obtenidos mediante la prueba Marshall, del capítulo 4, con los resultados de pruebas realizadas para una mezcla asfáltica modificada con neumático reciclado molido.

El pavimento asfáltico de las vías de comunicación está sujeto a la acción del intemperismo, lo cual ocasiona el desgaste del mismo, cuando se tienen condiciones de saturación, este se ve afectado en su estabilidad, teniendo desprendimientos de partículas provocando el colapso del mismo.

En la necesidad de construir pavimentos que resistan este tipo de ataques externos y dañinos para los mismos, se realiza un estudio de asfaltos modificados los cuales tiene el objetivo primordial de mantener sus condiciones de estabilidad o mejorarlas en la presencia de agua.

El neumático reciclado molido se toma como opción para el estudio de asfaltos modificados, este tipo de hule se obtiene de la molienda de llantas de nuestros municipios, como posible material que da más tiempo de vida de las carretas y las hace más seguras.

Neumático molido

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Una de las aplicaciones realmente interesantes previamente ya elaborado para este fin es en la aplicación de las carpetas asfálticas, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos modificados son mejores y más seguras.

El caucho procedente de los neumáticos usados puede utilizarse como parte del material ligante o capa selladora del asfalto (caucho asfáltico) o como árido (hormigón de asfalto modificado con caucho). Dependiendo del sistema adoptado se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por kilómetro de carretera de dos carriles.

El empleo del caucho en la construcción de carreteras le confiere unas características especiales.

En la capa de rodadura: mayor media vida, más elasticidad, más resistencia al agrietamiento, más resistencia al arrastramiento.

Pavimento drenante: impide acumulación del agua, incrementa adherencia, evita proyecciones de agua, buenas condiciones ópticas, bajo nivel de ruido.

Hoy en día los pavimentos de las vías de comunicación están sujetos a muchas problemáticas lo cual proporcionan un desgaste del mismo y se llega a la falla del pavimento provocando una inestabilidad que ocasiona un mal funcionamiento a los usuarios.

Con el fin de construir pavimentos que resistan un mayor periodo de vida, con más elasticidad, más resistencia al agrietamiento, más resistencia al arrastramiento. Se realiza un estudio de asfaltos modificados los cuales tienen el objetivo primordial de mejorar la estabilidad de la capa de rodamiento.

CAPITULO 2: ESTUDIO DEL MATERIAL PÉTREO.

2.1.- INTRODUCCION

El material pétreo es el factor principal de la estabilidad de una carpeta asfáltica, y para que pueda llenar esta función es preciso que tenga la calidad necesaria, y que la graduación de sus partículas sea la adecuada, ya sea que se trate de mezcla asfáltica o de carpetas de riego.

Para construir las carpetas de rodamiento se deben escoger materiales pétreos que no hayan sido alterados excesivamente por los agentes del intemperismo mecánico o químico. Las variaciones de temperaturas provocan contracciones y dilataciones en las rocas, que con el tiempo dan lugar a la formación de grietas, así como el bióxido de carbono de la atmosfera, dan origen a cambios en la composición química de los diversos minerales que forman las rocas. Si esta alteración es excesiva da por resultado un tipo de minerales demasiado suaves que no resisten los esfuerzos provocados por las cargas de los vehículos, o bien materiales de características desfavorables en cuanto a su adherencia con el asfalto.

Los materiales pétreos triturados, aun cuando lo sean parcialmente dan carpetas con mayor estabilidad que la que se obtiene con materiales redondeados, debido a la angulosidad de las partículas que proporcionan un mejor acuña miento entre ellas.

Al ser triturado el material pétreo, la granulometría del producto de la trituración no es satisfactoria (Generalmente hay escasez de finos), es necesario agregar un material que corrija los defectos de la curva granulométrica. Este caso es muy frecuente en los materiales provenientes de rocas de buena calidad, que obligan a la adición de arena o de material fino que supla la deficiencia de partículas de los tamaños menores. La mezcla resultante debe satisfacer los requisitos de granulometría que fijen las Especificaciones respectivas.

En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente intervienen dos materiales indispensables que son los agregados pétreos y el asfalto. los agregados por su parte son de gran importancia ya que en una mezcla asfáltica constituyen entre el 90 y el 95 por ciento en peso, y entre el 75 y 85 por ciento en volumen; es de mencionar que la calidad de la mezcla asfáltica depende de la calidad de los materiales constituyentes y la capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, de esto se deriva la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales pétreos que serán utilizados para elaborar una mezcla asfáltica, específicamente en lo que se refiere a una buena distribución granulométrica.

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

a) Agregados Naturales.

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento.

b) Agregados de Trituración.

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales de canteras cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

c) Agregados Artificiales.

El tamaño máximo del material pétreo está limitado por el espesor de la carpeta. Podemos decir que para las carpetas comúnmente construidas el tamaño máximo del agregado debe estar entre 1/2" (12.7 mm) y 3/4" (19 mm) cuando los materiales pétreos con tamaño máximo de 1" (25.4mm) tienden a producir una carpeta de textura abierta, por la escasez de finos. A menos de que se logre una total impermeabilidad de la carpeta por medio de sello posterior.

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 magnésicos 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.

Tras el basalto, la andesita es la roca volcánica más común de la Tierra. El nombre andesita deriva de su ocurrencia en Andes aunque yace a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico y en otras localidades como Trondheim en Noruega y en Islandia, así como las formaciones del Cabo de Gata, en Almería, España. Junto con el basalto es una de las rocas más comunes de corteza de Marte.

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

MINERALOGÍA Y QUÍMICA.

Las andesitas se pueden clasificar en tres tipos: las dacitas, las andesitas con hornblenda y biotita y andesitas con piroxeno. Las dacitas son andesitas con cuarzo y a veces no son consideradas andesitas si no una familia aparte. Las andesitas con piroxeno son las más comunes de todas. Son más oscuras, densas y máficas que las otras variedades. Mineralógicamente se denomina andesita basáltica a aquellas andesitas que poseen minerales ferromagnésicos típicos del basalto como el olivino pero poseen feldespatos con composiciones químicas típicas de las andesitas.¹³ La Unión Internacional de Ciencias Geológicas recomienda la clasificación de las andesitas basálticas a través de su química en el diagrama TAS.¹³

Una composición química típica de las andesitas expresada en porcentaje de masa de óxidos es:

SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na₂O	K₂O	P₂O₅
58,70	0,88	17,24	3,31	4,09	0,14	3,37	6,88	3,53	1,64	0,21



BASALTO.

El basalto es una roca ígnea volcánica de color oscuro, de composición máfica rica en silicatos de magnesio y hierro y bajo contenido en sílice, que constituye una de las rocas más abundantes en la corteza terrestre. También se encuentra en las superficies de la Luna y de Marte, así como en algunos meteoritos. Los basaltos suelen tener una textura porfídica, con fenocristales de olivino, augita, plagioclasa y una matriz cristalina fina. En ocasiones puede presentarse en forma de vidrio, denominado sideromelano, con muy pocos cristales o sin ellos.



El basalto es la roca volcánica más común y supera en cuanto a superficie cubierta de la Tierra a cualquier otra roca ígnea, incluso juntas: forma la mayor parte de los fondos oceánicos. También hay grandes extensiones de basalto llamadas traps sobre los continentes. Islas oceánicas y arcos volcánicos continentales e insulares son otros lugares donde se puede hallar basalto.

Rocas similares y a menudo emparentadas con basaltos incluyen la diabasa, el gabro y la andesita.

ROCAS DERIVADAS DEL BASALTO DE CLASE ANDESITA.

Ígneas

El magma basáltico puede producir rocas distintas al basalto como la andesita, dacita y riolita mediante cristalización fraccionada, aunque la asimilación de rocas de la corteza también juega un rol importante en formación de estas rocas. Según algunos experimentos de laboratorio, se podría generar magma félsico directamente a partir de la fusión parcial de basalto. En el caso de las riolitas de Islandia hay dos hipótesis y ambas involucran al basalto: una que postula que las riolitas provienen de la fusión parcial del basalto, y otra que postula que la cristalización fraccionada y la asimilación cortical por parte del magma basáltico generan el magma ríolítico.

Metamórficas

El basalto puede ser protolito de una vasta gama de rocas metamórficas dependiendo de las condiciones de temperatura y presión. Algunas de las rocas metamórficas que pueden derivar del basalto (meta basaltos) son esquisto azul, esquisto verde, anfíbolita y granulita.²⁰ Las distintas facies metamórficas llevan el nombre de las rocas formadas a partir de un protolito de basalto.

Las eclogitas son rocas de composición basáltica que han sido expuestas a presiones extremas en el manto o en zonas de subducción.

Basaltos alterados por circulación hidrotermal cerca de dorsales meso-oceánicas forman espilitas.

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:

2.2.- IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN.

2.3.- PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO.

2.4.- GRANULOMETRÍA DE MATERIALES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.5.- PRUEBA DE DENSIDAD RELATIVA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ABSORCIÓN.

2.6.-EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.7.- DESGASTE MEDIANTE LA PRUEBA DEL DESGASTE DE LOS ÁNGELES DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.2. 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.

Fig. 2.2.1 Ubicación



El aspecto geológico de la región serrana y del Malpaís, está formada en todo su volumen por materiales volcánicos como balastos, rocas ígneas extrusivas de color gris oscuro y gris intermedio de la roca. Los montes y cerros con una capa delgada de

tierra vegetal de 1.5 m de espesor y enseguida espesores importantes de materiales volcánicos, y material piedra braza.



Fig. 2.2.2.- Banco “Trituradora Grupo de Oro”

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 aplanar 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.



Fig. 2.2.3.- Trituradora de material



Fig. 2.2.4.-Acarreo de material



Fig.- 2.2.5.- Acarreo de Material pétreo



Fig.- 2.2.6 Envasado de material



Fig.2.2.7.- Secado de Material



Fig. 2.2.8.- Extendido de Material

2.3. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (P.V.S.S)

Objetivo de la prueba

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.

Procedimiento de la prueba

Teniendo en cuenta ya el cuarteo descrito en el capítulo 1.2 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 (W_1)

Después se le resta el peso del recipiente (W_2) 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:

$$PVSS = \frac{W_1 - W_2}{V} * 1000$$

Dónde:

$PVSS$ = *Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m^3)*

W_1 = *Peso del material seco (Kg)*

W_2 = *Peso del recipiente (Kg)*

V = *Volumen del recipiente ($Lts.$)*

En la prueba realizada los resultados fueron los siguientes:

Calculo del 1er peso:

$$P.V.S.S = \frac{6,623 - 1,847}{2.85} = 1,675.79 \text{ KG/M}^3$$

Para el 2° peso:

$$P.V.S.S = \frac{6,702 - 1,847}{2.85} = 1,703.51 \text{ KG/M}^3$$

3er Peso:

$$P.V.S.S = \frac{6,725 - 1,847}{2.85} = 1,711.58 \text{ KG/M}^3$$

Promedio de los tres cálculos realizados de la prueba del Peso Volumétrico Seco Suelto (P.V.S.S), es:

$$\boxed{P.V.S.S. = 1,696.96 \text{ KG/M}^3}$$



Fig.- 2.3.1.- Llenado de recipiente para prueba.



Fig.-2.3.2.- Enrasado de recipiente.



Fig. 2.3.3.- Llenado de Material



Fig. 2.3.4.- Peso de Material y Bote

2.4. GRANULOMETRÍA 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.

Objetivo de la prueba

Esta prueba permite determinar la composición por tamaños (granulometría) de las partículas del material pétreo empleado en mezclas asfálticas mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas. El paso del material se hace primero a través de las mallas con la abertura más grande, hasta llegar a las más cerradas, de tal forma que los tamaños mayores se van reteniendo, para así poder obtener la masa que se retiene en cada malla, para calcular su porcentaje respecto al total y definir la masa que pasa.

Procedimiento de la prueba

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. 2.4.1.-** Cribado de material**Fig. 2.4.2.-** Diferente malla**Fig.2.4.3.-** Malla para granzón**Fig.2.4.4.-** Material fino

En la Tabla de la granulometría existen parámetros (Tabla. 1.4.1) 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. 2.4.1.- 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

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 2.4.2 y 2.4.3 terminando en el fondo con la charola receptora.

Fig.2.4.2 Juego de Mallas para grava

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

Fig.2.4.3 Juego de mallas para arenas

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

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 para la composición granulométrica del material retenido en la malla No.4 obtuvimos una muestra representativa de 1100 gr. Y para la determinación de la composición granulométrica del material tamizado por la malla No.4 fue una muestra representativa de 440 gr.

Enseguida se presenta el retenido de las mallas.

El resultado del cribado del material es el siguiente:

MATERIAL GRUESO DE LA MUESTRA.

MALLA N°	PESO RETENIDO PARCIAL (GRS)	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
1"			100
3/4"	55	5	95
1/2"	154	14	81
3/8"	165	15	66
1/4"	231	21	45
N° 4	55	5	40
PASA N° 4	440	40	0
SUMA	$\Sigma = 1,100$	$\Sigma = 100$	

PORCIÓN FINA DE LA MUESTRA.

MALLA N°	PESO RETENIDO PARCIAL (GRS)	% RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
10	198	18	22
20	88	8	14
40	44	4	10
60	22	2	8
100	11	1	7
200	33	3	4
PASA N° 200	44	4	0
SUMA	$\Sigma = 440$	$\Sigma = 40$	

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

MALLA		TAMAÑO DEL MATERIAL PÉTREO EN (mm) in		
ABERTURA (mm)	DESIGNACIÓN	19 mm (3/4")	% QUE PASA	
		% QUE PASA EN LA MUESTRA DE GRANULOMETRÍA		
50	2"			
37.5	1 1/2"			
25	1"	100	100	PASA
19	3/4"	90 a 100	95	PASA
12.5	1/2"	72 a 90	81	PASA
9.5	3/8"	60 a 76	66	PASA
6.3	1/4"	44 a 57	45	PASA
4.75	N° 4	37 a 48	40	PASA
2	N°10	20 a 29	22	PASA
0.85	N°20	12 a 19	14	PASA
0.425	N° 40	8 a 14	10	PASA
0.25	N° 60	6 a 11	8	PASA
0.15	N° 100	4 a 8	7	PASA
0.075	N° 200	2 a 5	4	PASA

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.

2.5. PRUEBA DE DENSIDAD RELATIVA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ABSORCIÓN.

Objetivo de la prueba

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).

Procedimiento de la prueba

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 (cm^3)

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

Dónde:

P_h = Peso húmedo del material (gr.)

P_s = Peso seco del material (gr.)

En la prueba realizada los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$Dr = \frac{298.6}{113} = 2.642$$

Y el % de absorción del material:

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \frac{302.3 - 298.6}{298.6} = 1.24 \%$$

Para el 2° cálculo resulto:

$$Dr = \frac{496}{185} = 2.681$$

El % de absorción del segundo cálculo es:

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \frac{504 - 496}{496} * 100 = 1.61 \%$$

Para el 3er cálculo resulta:

$$DR = \frac{297}{110} = 2.7$$

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \frac{301 - 297}{297} * 100 = 1.33 \%$$

El promedio de los cálculos realizados de esta práctica es:

$$D = 2.67$$

Tanto del % de absorción promedio resultado:

$$\% \text{ DE ABSORCIÓN} = 1.393 \%$$



Fig. 2.5.1 Secado superficial

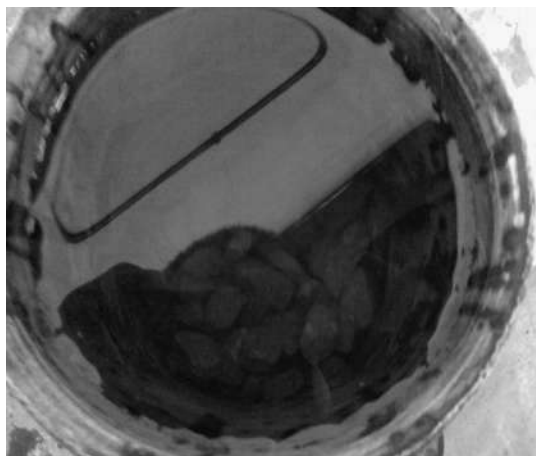


Fig. 2.5.2 Saturación de Material



Fig. 2.5.3 Secado del material



Fig. 2.5.4 Peso material Seco

2.6. EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.

Esta prueba 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 concreta hidráulica.

Objetivo de la prueba

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:

Solución de reserva

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.

Solución de trabajo

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.2.6.1** Capsula de Muestra**Fig.2.6.2** Equipo Sifón**Fig.2.6.3** Muestra de prueba**Fig.2.6.4** Cilindro y Pisón para la prueba

Procedimiento de 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, entendiendo 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:

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

Dónde:

LNS_{arena} = Nivel superior de la arena (cm)

LNS_{finos} = Nivel superior de finos (cm)

Cálculo de la probeta N°1:

$$\% \text{ DE EQUIVALENTE ARENA} = \frac{9.53}{11.67} * 100 = 81.66 \%$$

Calculo de la Probeta N° 2:

$$\% \text{ DE EQUIVALENTE ARENA} = \frac{8.73}{11.75} * 100 = 74.30 \%$$

Por lo tanto el Promedio de los dos cálculos es:

$$\% \text{ DE EQUIVALENTE ARENA} = 77.98 \%$$



Fig.2.6.5 Cilindro con la Muestra



Fig.2.6.6 Sifón mas los cilindros

2.7. DESGASTE MEDIANTE LA PRUEBA DEL DESGASTE DE LOS ÁNGELES.

Objetivo de la prueba

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. 2.7.1 Maquina Los Ángeles



Fig. 2.7.2 Material Obtenido

Procedimiento de la prueba

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 2.7.3 clasificación de los materiales según su granulometría.



Fig.- 2.7.4.- 11 esferas en la prueba.



Fig.- 2.7.5. 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 1/4" (6.30 mm).

Identificando el tipo de material, se toma la cantidad indicada en la tabla de las partículas retenidas en las mallas 1/4" (6.30 mm) y la N° 4 (4.75 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 1.7.3.

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 1.7.3, 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:

$$D = \frac{W_i - W_f}{W_i} * 100$$

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 1/2" = 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:

$$\% \text{ DESGASTE DE LOS ANGELES} = \frac{5000 - 4253}{5000} * 100 = 14.94 \%$$

2.8. RESUMEN DE RESULTADOS

PRUEBA	RESULTADO	ESPECIFICACION
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO	1,696.96 KG/M3	NO EXISTE NORMA
GRANULOMETRIA	LA GRANULOMETRIA DE NUESTRO CALCULO ESTA SOBRADA CON FORME AL RANGO EN LOS TAMAÑOS DEL MATERIAL PETREO PARA UN TAMAÑO NOMINAL DEL MATERIAL PETREO DE 19 MM (3/4").	SE TOMO DE LA TABLA # 1 DEL LIBRO DE LA SCT. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES (M-MMP-4-04-002/2).
PRUEBAS DE DENSIDAD RELATIVA Y APARENTE Y ABSORCION.	DENCIDAD RELATIVA = 2.673 % DE ABSORCION = 1.393 %	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	77.98 %	DEL 50 % COMO MINIMO DE LA NORMA (M-4-04-004/02)
DESGASTE MEDIANTE LA PRUEBA DEL DESGASTE DE LOS ANGELES.	14.94 %	DE 30 % COMO MAXIMO DE LA (M-MMP-4-04-006/02)

2.9.- 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 2.673 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 esta 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 2.67 está en los límites permisibles y la absorción es mediana del 1.39 % 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 3: CEMENTO ASFÁLTICO.

3.1. INTRODUCCIÓN

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 los resultados 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 mas demanda tiene la región central del país, por el tipo de clima que predomina.

En las siguientes pruebas se determinara la calidad del cemento asfáltico AC-20 para mezcla asfáltica.

3.2. DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20

Los materiales bituminosos se encuentran entre los más antiguos del mundo y entre los materiales de construcción más comunes, se emplea para pavimentación de calles, aeropuertos, y como revestimiento impermeable en las construcciones; Estos se extienden y se compactan para obtener una capa del espesor deseado, debido a sus buenas propiedades; También se usa como el núcleo de ciertas presas como impermeabilizante.

Definición:

El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, autovías o autopistas. También es utilizado en impermeabilizantes. Está presente en el petróleo crudo y compuesto casi por completo de bitumen.

Es muy importante tomar en cuenta algunas propiedades del cemento asfáltico, para su identificación y clasificación las cuales se mencionan a continuación:

3.2.- DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20.

3.3.- PENETRACIÓN EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

3.4.- PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

3.5.- PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

3.6.- DUCTILIDAD EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

3.3. PRUEBA DE PENETRACIÓN EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

Objetivo de la prueba

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.



Fig.- 3.3.1 Penetro metro



Fig.- 3.3.2 Penetro metro en la capsula



Fig.-3.3.3 Capsula en baño de agua



Fig.- 3.3.4 Capsulas a cierta Temperatura

Procedimiento de la prueba

Se toma una muestra de cemento asfáltico y se vierte en una cápsula, la muestra no se debe calentar a más de 130 °C ni por más de 30 minutos, se deja reposar hasta que se enfríe, posteriormente se introduce en baño maría a una temperatura de 25 °C por espacio de una hora y media a dos horas, esto con la finalidad de uniformizar la temperatura del mismo.

Se coloca el penetrómetro sobre una superficie plana, firme y sensiblemente horizontal, se le acopla la aguja y se lastra para que el elemento tenga un peso de 100 ± 0.1 gr. y finalmente se nivela perfectamente el penetrómetro.

En el recipiente de las capsulas se pone el penetrómetro teniendo en cuenta suficiente agua como para cubrir las capsulas. Después se ajusta la altura de la aguja hasta que haga contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la punta de la aguja con la de su imagen reflejada en la superficie de la muestra.

Se hace coincidir la manecilla del penetrómetro con el cero de su caratula, hecho esto se oprime el sujetador para liberar la aguja únicamente durante 5 segundos lo cual se toma la lectura registrándola en décimos de milímetros.

Se debe hacer por lo menos tres penetraciones sobre puntos diferentes de la superficie de la muestra de prueba, separados entre sí y la pared de la capsula. Se limpia cuidadosamente la aguja después de cada penetración.

En la prueba realizada el resultado fue el siguiente:

Penetraciones de la 1ra. Capsula:

TABLA 3.3.5

Nº ENSAYE	GRADOS DE PENETRACION
1	71
2	53
3	75
4	67
5	70
PROMEDIO =	72

Penetraciones de la 2ª capsula:

TABLA.- 3.3.6

Nº DE ENSAYE	GRADOS DE PENETRACION.
1	62
2	53
3	63
4	54
5	53
PROMEDIO =	59.67



Fig.-3.3.7. Penetraciones en Cemento



Fig.-3.3.8. Capsula con el cemento asfáltico.



Fig.-3.3.9. Penetro metro de perfil

3.4. PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

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 la inflamación de los solventes que se están desprendiendo.

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

Si se continúa elevando la temperatura correspondiente se denomina punto de combustión.



Fig.-3.4.1. Sujetador de prueba

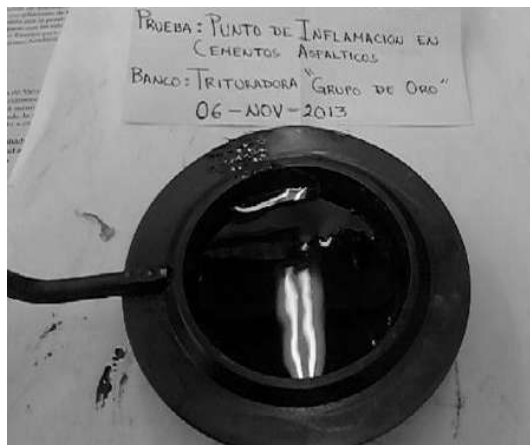


Fig.-3.4.2. Copa abierta de Cleveland

Procedimiento de la prueba

Se monta y se sujeta el termómetro de manera que el extremo inferior del bulbo quede a 6.4 mm de la copa abierta de Cleveland, previamente colocada en la placa de apoyo, en un punto situado a la mitad de la distancia entre el centro y la pared de la copa opuesta al aplicador de flama; cuidando que el eje de giro del aplicador de flama, al centro de la copa y el eje del termómetro queden en el mismo plano vertical.

Se vacía lentamente en la copa abierta de Cleveland el material asfáltico preparado, hasta que la parte superior del menisco coincida con la marca de aforo de la copa, destruyendo cualquier burbuja que se forme en la superficie de la muestra de prueba vertida.

Se aplica calor a la muestra de prueba de manera que su temperatura aumente a razón de 1.5 a 2 °C por minuto.

A continuación a intervalos de 2°C se pasa una pequeña llama por el borde de la copa abierta de Cleveland y en el momento que se aparezca una flama, en cualquier parte de la superficie de la muestra, se toma la temperatura, la cual será el punto de inflamación.

En esta prueba los resultados son:

La primera llama que se genero en la prueba fue a los:

236 °C

En la segunda prueba de esta práctica la flama se presentó a:

241 °C



Fig.- 3.4.3. Aplicando calor a Muestra



Fig.- 3.4.4. Copa con cemento asfáltico

3.5.- PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

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.

Objetivo de la prueba

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 25 mm en una muestra de asfalto sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua o glicerina.



Fig.- 3.5.1. Anillos para la prueba



Fig.- 3.5.2. Enrasado de cemento en anillo.



Fig.- 3.5.3. Calentamiento de espátula



Fig.- 3.5.4. Baño de agua o glicerina.

Procedimiento de la prueba.

Se vierte en dos anillos de latón una muestra de aglomerante y se deja enfriar al aire durante 30 minutos. Después el exceso del producto se elimina enrasando con la parte superior de los anillos, se montan los anillos en un matraz llenándolo hasta una altura de 5 cm. Por encima de la cara superior de los anillos con agua destilada recién hervida a una temperatura de 5° C, y después se eleva la temperatura a razón de 5° C por minuto.

Se anota la temperatura a la que la muestra, rodeando a la esfera de acero, llega a una profundidad de 2.5 cm, dándole como punto de reblandecimiento por el método del anillo y la esfera.

En la prueba realizada el resultado es el siguiente:

La temperatura a la cual toco el anillo la placa inferior:

Anillo = 51° C

3.6.- PRUEBA DE DUCTILIDAD DE CEMENTOS ASFÁLTICOS.

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.

Objetivo de la prueba

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.



Fig.- 3.6.1. Calentamiento del cemento



Fig.- 3.6.2. Briquetas de cemento asfáltico.

Procedimiento de la prueba.

Se vierte asfalto en estado líquido en dos moldes, rebasando ligeramente la línea de enrase y evitando la formación de burbujas.

Se dejan enfriar las muestras a temperatura ambiente durante 30 minutos para después retirar el exceso de asfalto con una espátula previamente calentada. Posteriormente se ponen en baño maría a 25 ° C durante hora y media.

Transcurrido este tiempo, se procede a desmontar las piezas laterales de los moldes y las probetas se montan en el ductilometro, el cual esta previamente llenado con agua a

una temperatura de 25 ° C, el nivel de agua deberá estar 2.5 centímetros por encima de la probeta.

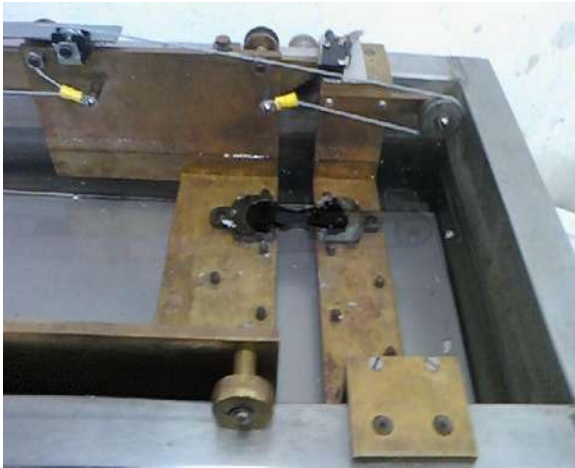


Fig.-3.6.3. Prueba de las Briquetas.



Fig.- 3.6.4. Maquina de prueba de ductilidad

Teniendo todo listo se pone en marcha el mecanismo del ductilometro el cual nos proporciona una velocidad de estiramiento en nuestra probeta de 5 centímetros por minuto. En el momento en los hilos de asfalto lleguen a la ruptura, se anota la distancia recorrida por la briqueta, en centímetros, y esta será la ductilidad del asfalto.



Fig.- 3.6.5. Vaciado del cemento.



Fig.- 3.6.6. Juego de briquetas de prueba

En la prueba realizada el resultado obtenido es el siguiente:

BRIQUETA = 61 CM.

3.7.- RESUMEN DE RESULTADOS.

LOS DATOS QUE CONCENTRAN EN LA TABLA SIGUIENTE, SON LOS RESULTADOS DE LAS DIFERENTES PRUEBAS QUE SE REALIZARON AL CEMENTO ASFÁLTICO; ASÍ MISMO LOS REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS POR VISCOSIDAD DINÁMICA A 60 °C.

Tabla 3.7.1.- Requisitos de calidad de cemento asfáltico.

PRUEBA	RESULTADOS DE LA PRUEBA	ESPECIFICACIÓN
PENETRACION EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.	72	60 MINIMO, N-CMT-4-05-001/6
PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.	241 °C	232 MINIMO; DE LAS N-CMT- 4- 05- 001/06
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.	51 °C	ENTRE 48 Y 56; N-CMT- 4-05-001/06
DUCTILIDAD DE CEMENTOS ASFÁLTICOS.	61 CM	50 MINIMO; N-CMT- 4- 05- 001/06

3.8.- CONCLUSIONES.

Como podemos observar la tabla 3.7.1.- 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.

CAPITULO4: DISEÑO DE LA MEZCLA.

4.1.- INTRODUCCIÓN.

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 intemperismo 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:

→ El asfalto actúa como aglutinante y dentro de esta condición, se presenta la máxima resistencia estructural pero durabilidad mínima.

→ 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.

→ 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.

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 (Kg) 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 4.1.1., dichas constantes están expresadas en m² por cada kilogramo de material.

TABLA 4.1.1.- CONSTANTE DE ÁREA.

TAMAÑO DEL MATERIAL		CONSTANTE DE ÁREA (M2/KG)
PASA MALLA N°	RETIENE MALLA N°	
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 4.1.1. CONSTANTES 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 4.1.1., 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 4.1.2., De acuerdo a las características que tiene nuestro material pétreo.

De la siguiente tabla 4.1.2. Tomamos en índice asfáltico dependiendo del tipo de material que escogimos para el cálculo de nuestras pruebas.

TABLA 4.1.2. ÍNDICE ASFÁLTICO.

TIPO DE 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
Rocas trituradas de alta absorción.	0.008

La granulometría del material pétreo se muestra en la siguiente **tabla 4.1.3**:

MALLA N°	% QUE PASA
1"	100
3/4"	95
1/2"	81
3/8"	66
1/4"	45
N° 4	40
N°10	22
N° 20	14
N° 40	10
N° 60	8
N° 100	7
N° 200	4

Como puede observarse en la tabla 4.1.2., para el tipo de material que tenemos de nuestra granulometría, corresponde **un índice de 0.0060** por tratarse de material; **Gravas angulosas o redondeadas, trituradas de baja absorción.**

Para el caso de los cementos asfálticos el valor obtenido como contenido mínimo se deberá multiplicar por un factor de 1.25, este factor se aplica cuando se utilizan cementos asfálticos sólidos por tener un menor poder de cubrimiento.

Además, las especificaciones nos dicen que hay que incrementar en un 0.1 % el contenido mínimo ya multiplicado por el factor anterior.

Para los ensayos de la prueba del Método Marshall es necesario hacer la preparación de especímenes con un contenido de asfalto de:

Para cada una de las Muestras de pastillas se empleará la cantidad de = **1,100 grs.**

Los porcentajes de cemento asfáltico son de: **4%, 4.5 %, 5%, 5.5%, 6%** del total de la muestra.

% DE C.A.	GRAMOS DE C.A.
4%	44
4.50%	49.5
5%	55
5.50%	60.5
6%	66

Para las pastillas, calentar las Gravas y del % de C.A. agregar la mitad a las gravas, mezclarlas bien y después agregar el material fino y agregar la otra mitad del % de C.A. para completar de preparar la pastilla.

El cálculo del contenido mínimo de asfalto se realiza de la siguiente manera en la **tabla 4.1.4:**

TAMAÑO DE MATERIAL		% EN PESO	CONSTANTE DE ÁREA (M ² /KG).	SUPERFICIE PARCIAL.	ÍNDICE ASFALTICO.	CONTENIDO DE ASFALTO
PASA MALLA	RETENE MALLA					
3/4"	N° 4	60	0.41	$60/100 * 0.41 = 0.246$	0.006	$0.246 * 0.0060 = 0.00148$
N° 4	N° 40	30	2.05	$30/100 * 2.05 = 0.615$	0.006	$0.615 * 0.0060 = 0.00369$
N° 40	N° 200	6	15.38	$6/100 * 15.38 = 0.923$	0.006	$0.923 * 0.0060 = 0.00554$
PASA N° 200		4	53.3	$4/100 * 53.3 = 2.132$	0.006	$2.132 * 0.0060 = 0.01279$
TOTAL		100		$\Sigma = 3.916$		$\Sigma = 0.02350$

Por lo tanto El contenido de asfalto es de 0.0235 kg de C.A. por kilogramo de material pétreo = 2.35 % en peso de cemento asfáltico.

Realizando las operaciones me resulta:

$$A = 0.020 a + 0.045 b + cd$$

$$a = 18$$

$$b = 18$$

$$c = 4$$

$$d = 0.20$$

$$A = 0.020(18) + 0.045(18) + 4(0.20) = 1.970$$

$$A = 1.970$$

$$A = 1.970 \times 1.25 = 2.46\%$$

$$A = 2.46\%$$

A este resultado se le agrega el 0.1 % por especificaciones, por lo tanto el contenido mínimo de cemento asfáltico es de **"2.56 %"**. Este porcentaje es muy bajo por lo tanto empezaremos con el de 4 % para nuestros cálculos de las pastillas.

Los porcentajes que se emplearan para el cálculo del contenido Óptimo de cemento asfáltico por el Método Marshall serán:

Contenido calculado en %	% de cemento asfáltico
Contenido neto	4%
Contenido mas 0.5 %	4.50%
Contenido mas 1.0 %	5%
Contenido mas 1.5 %	5.50%
Contenido mas 2 %	6%

4.2.- MÉTODO MARSHALL.

4.2.1.- HISTORIA DEL METODO MARSHALL.

Con el acontecimiento de la segunda guerra mundial, el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos de Norteamérica vio como un importante problema de proyecto y construcción de aeropuertos militares en todos los frentes de batalla.

En ese momento el Cuerpo de ingenieros tenía un tipo de ensayos simples, y esquemas de trabajo para los proyectos y el control de calidad de campo para pavimentos asfálticos.

Carecían también, de un criterio racional para la determinación del contenido optimo de asfalto en mezclas que serian sometidas a enormes cargas por los aviones y vehículos militares.

Teniendo en cuenta estos problemas, el Cuerpo de Ingenieros inicio un estudio para seleccionar aparatos de ensayo simples y de fácil transporte que podría ser usado en campo como control de calidad.

La segunda fase de este estudio era determinar un método de compactar cuerpos de prueba en laboratorio, cuyos valores de densidad fueran comparables y compatibles con aquellos obtenidos en campo.

La tercera fase de esa búsqueda era naturalmente el establecimiento de un criterio de proyecto racional de ensayos previos de control.

Así fue que el cuerpo de ingenieros adopto un aparato y método de proyecto de mezclas asfálticas, **concebido por Bruce G. Marshall** del Departamento de Caminos del estado de Mississippi.

A fin de determinar un método de laboratorio para la compactación de los cuerpos sometidos a prueba y para un criterio de seguridad de las propiedades de ciertas mezclas con el ensayo de Marshall, fue necesario construir un gran número de pistas experimentales, en las cuales se variaban el porcentaje de asfalto y la granulometría de los agregados. Trenes tipo fueron aplicados a estas pistas experimentales un gran número de veces, para determinar el efecto de compactación por el propio tráfico. De dicho estudio el Cuerpo de Ingenieros estableció el siguiente criterio, basado en los resultados obtenidos con el ensayo 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).

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.

Las pastillas Marshall antes de ser sometidas a una carga deben estar a una temperatura de 60° C durante 20 minutos, para esto se utilizará un baño de agua o tanque de saturación con control de temperatura.

Para la realización de las pastillas se utilizará un pedestal de compactación que consiste en un bloque de madera llevando sujeta en la parte superior una placa metálica donde está el sujetador metálico para los moldes de compactación (Figura 4.2.2), que permitan mantener firmemente en posición sobre el centro del pedestal, los cilindros montados con su base y collarín, para compactar la mezcla asfáltica.

La compactación de la mezcla asfáltica se realiza con un pistón especial con superficie circular de contacto de 98.4 mm de diámetro, teniendo una pesa deslizante de 4,536 grs y una altura de caída de 457.2 mm como se muestra en la (Figura 4.2.3).

Para la realización de la prueba se utilizará la máquina de compresión Marshall Figura (4.2.4), con capacidad de 3,000 kg. Accionada con un motor eléctrico, equipada con mordazas semicirculares para aplicar cargas a los especímenes de prueba a una velocidad de 2 Pulg./ min. Y provista de un dinamómetro de anillo calibrado para cargas. Un extensómetro para medir la deformación vertical o flujo del espécimen.

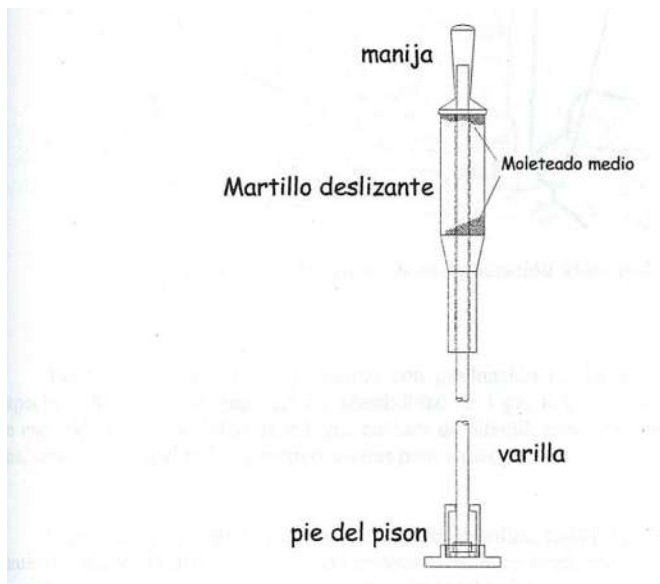


Fig.- 4.2.3. Pistón de compactación Marshall y Maquina de compactación Marshall.



También utilizaremos termómetros con graduación de 10 a 200 °C, balanza con capacidad de 20 kg. De capacidad y sensibilidad de 1 gr., cuchara de albañil, espátula, parrilla eléctrica o de gas, charolas para el material pétreo, pinzas para vasos y guantes.

Para cada contenido de asfalto se hacen tres pastillas, cada pastilla requiere de 1,100 grs. De material pétreo, la distribución de las partículas se hace conforme a la distribución de su granulometría, dicha distribución se muestra en la tabla 4.2.4.

MALLA N°		% PARCIAL RETENIDO	PESO TOTAL DE LA MUESTRA (GRS)	PESO DEL MATERIAL EN (GRS)
PASA	RETIENE			
1"	3/4"	5	1,100	55
3/4"	1/2"	14	1,100	154
1/2"	3/8"	15	1,100	165
3/8"	1/4"	21	1,100	231
1/4"	N° 4	5	1,100	55
N° 4	PASA N° 4	40	1,100	440
TOTAL		$\Sigma = 100$		$\Sigma = 1,100$

PASA N° 4	N° 10	18	1,100	198
N° 10	N° 20	8	1,100	88
N° 20	N° 40	4	1,100	44
N° 40	N° 60	2	1,100	22
N° 60	N° 100	1	1,100	11
N° 100	N° 200	3	1,100	33
N° 200	PASA N° 200	4	1,100	44
TOTAL		$\Sigma = 40$		$\Sigma = 440$

TABLA.- 4.2.4. COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA QUE DEBERÁ TENER EL MATERIAL PÉTREO EN CADA PASTILLA.

Procedimiento de la prueba.

Se calienta el material pétreo a una temperatura de 170 °C y el cemento asfáltico a 150 °C para realizar la mezcla asfáltica y obtener un mejor cubrimiento de partículas. Se vierte el cemento asfáltico en la proporción deseada de acuerdo a la tabla 4.2.5. Y se mezclan hasta lograr cubrir todas las partículas de material pétreo.

CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO	PESO DEL MATERIAL PÉTREO (GRS.)	PESO DE CEMENTO ASFÁLTICO (GRS.)
4%	1,100	44
4.50%	1,100	49.5
5%	1,100	55
5.50%	1,100	60.5
6%	1,100	66

TABLA 4.2.6.- CONTENIDO EN PESO DE CEMENTO ASFÁLTICO POR CADA ESPÉCIMEN.

Se calienta el molde de compactación, que consiste de una placa y base con collarín, en el horno a una temperatura de 100 °C.

Estando el equipo caliente se vierte la mezcla realizada anteriormente, se coloca el molde en el pedestal y se apoya el pistón dentro del molde sobre la muestra y **se aplican 75 golpes**. Posteriormente se quita el collarín y se da vuelta al molde, se fija firmemente sobre el pedestal y se le aplican otros 75 golpes con el pistón, de esta manera se obtendrá una carga de compactación de 14 kg/cm². Todo este procedimiento no debe hacerse a una temperatura inferior a los 140 °C, y en ningún caso se recalentará la muestra.



Fig.- 4.2.7. Moldes a cierta temperatura.



Fig.- 4.2.8. Mezclado del material C.A.

Se separa el molde que contiene el espécimen, la placa de base y el collarín y se deja enfriar el tiempo necesario para que al ser extraído no sufra deformaciones, se pone en una superficie plana y horizontal, en donde permanecerá en reposo a temperatura ambiente, antes de ser probado, durante un periodo de 12 a 24 horas a partir de su elaboración.



Fig.- 4.2.9. Material a cierta temperatura.

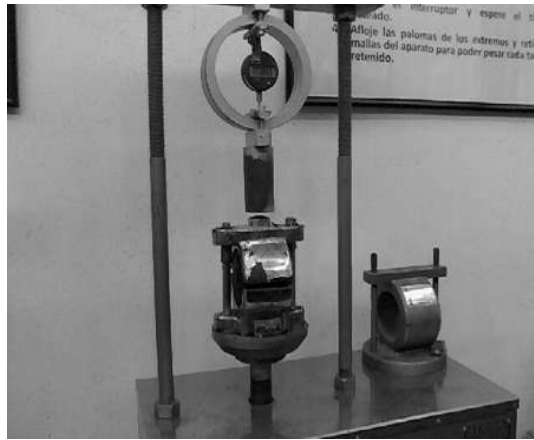


Fig.- 4.2.10. Maquina de prueba.

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.

El procedimiento descrito anteriormente se aplica para la realización de todos los especímenes faltantes.

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



Fig.- 4.2.11. Pastillas en el agua.



Fig.-4.2.12. Pastillas de diferente % C.A.

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 42 minutos.

Transcurrido este lapso de tiempo se sacan de 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.



Fig.- 4.2.13. Parafina liquida.



Fig.- 4.2.14. Derritiendo la parafina.



Fig.- 4.2.15. Impermeabilización de pastilla.



Fig.- 4.2.16. Pastillas con parafina.

DENSIDAD DE LA PARAFINA.

Capsula de petri = 27 gramos

Capsula llena de parafina = 37 gramos

Volumen de la Capsula = 12.08 cm³.

W_{parafina} = Capsula llena de parafina – Peso de la capsula de petri.

W parafina = 37 grs. – 27 grs. = 10 grs.

W parafina = 10 grs.

$D = W_{\text{parafina}} / v = 10 / 12.08 = 0.83$

D parafina = 0.83

PASTILLAS.

Espesores de las pastillas:

Para él % de cemento asfáltico de 4 %:

- 1.- 6.55
- 2.- 6.43
- 3.- 6.48

Para él % de 4.5 de cemento asfáltico:

- 1.- 6.48
- 2.- 6.53
- 3.- 6.38

Para él % de 5 de cemento asfáltico:

- 1.- 6.48
- 2.- 6.4
- 3.- 6.3

Para él % de 5.5 de cemento asfáltico:

- 1.- 6.48
- 2.- 6.40
- 3.- 6.53

Para él % de 6 de cemento asfáltico:

- 1.- 6.43
- 2.- 6.45
- 3.- 6.40

PESO DE LAS PASTILLAS EN EL AIRE + (PESO DE PASTILLAS EN EL AIRE + PARAFINA).

PESO DE LA PASTILLA EN EL AIRE.		PESO DE LA PASTILLA EN EL AIRE + PARAFINA.	
PORCENTAJE	GRAMOS	PORCENTAJE	GRAMOS
4%	1,136	4%	1,171.10
4%	1,128.90	4%	1,158.80
4%	1,129.90	4%	1,160.50
4.50%	1,146	4.50%	1,163.20
4.50%	1,137.80	4.50%	1,188.30
4.50%	1,134.80	4.50%	1,165.60
5%	1,146	5%	1,179.30
5%	1,142.30	5%	1,160.90
5%	1,143.00	5%	1,175.60
5.50%	1,137.20	5.50%	1,189.70
5.50%	1,135.20	5.50%	1,157.80
5.50%	1,139.30	5.50%	1,169.50
6%	1,155.90	6%	1,177.40
6%	1,154.20	6%	1,167
6%	1,157.30	6%	1,155.50

PESO DE LAS PASTILLAS SUMERGIDAS EN EL AGUA.

PESO DE LAS PASTILLAS SUMERGIDAS EN EL AGUA.	
% DE CEMENTO A.	PESO EN GRAMOS.
4%	657
4%	657
4%	646
4.50%	670.3
4.50%	666.7
4.50%	663.6
5%	671.1
5%	669.5
5%	671.2
5.50%	667
5.50%	664.4
5.50%	678.9
6%	676.2
6%	674.9
6%	668.9

PRESA MARSHALL.

Se acciona la maquina a una velocidad de deformación constante de 2 pulg./min. Hasta que se presenta la carga máxima que es cuando se produce la falla del espécimen a la temperatura de prueba. El valor de la estabilidad Marshall será la carga máxima y el flujo será la deformación sufrida por dicha carga, en milímetros.

Se determinan sucesivamente la estabilidad y el flujo de cada uno de los especímenes restantes, con el mismo procedimiento indicado anteriormente.

Constante del anillo = 46

% DE CEMENTO ASFÁLTICO	FLUJO (MM)	ESTABILIDAD (KG)
4%	130	0.15
4%	82	0.21
4%	80	0.16
4.50%	135	0.13
4.50%	133	0.11
4.50%	121	0.13
5%	166	0.14
5%	126	0.11
5%	125	0.16
5.50%	195	0.13
5.50%	176	0.14
5.50%	145	0.15
6%	134	0.14
6%	142	0.13
6%	164	0.15

DE ACUERDO AL VOLUMEN DE LA PASTILLA.

Factores de corrección para la altura de los especímenes.

% DE CEMENTO ASFÁLTICO	ALTURA (CM)	VOLUMEN (CM3).	FACTOR DE CORRECCIÓN.	FACTOR DE CORRECCIÓN LIBRO.
4%	6.55	531.03	0.96	0.96
4%	6.43	521.28	1	
4%	6.48	525.33	0.96	
4.50%	6.48	525.33	0.96	0.96
4.50%	6.53	529.39	0.96	0.96
4.50%	6.38	517.23	1	1
5%	6.48	525.33	0.96	0.96
5%	6.4	518.85	1	0.98
5%	6.3	510.74	1	1.01
5.50%	6.48	525.33	0.96	0.96
5.50%	6.4	518.85	1	0.98
5.50%	6.53	529.39	0.96	0.96
6%	6.43	521.28	1	0.98
6%	6.45	522.9	0.96	0.98
6%	6.4	518.85	1	0.98

Formula en la cual se sustituye los valores de la estabilidad de los diferentes especímenes, donde nos indica si cumple los valores obtenidos.

$$L = 3,730.4 X + 19.21$$

X= Es el valor de la estabilidad.

Para el caso de 4 % de cemento asfáltico, sustituyendo en la formula anteriormente descrita resulta:

$$L = (3730.4 (0.15)) + 19.21$$

$$L = 578.77$$

Flujo en (M.M.)

$$W = 130 (0.01) (2.54) = 3.302$$

W = 3.302

Tabla donde se obtiene la estabilidad y el flujo por medio de la formula donde se mencionó anteriormente para obtener los resultados correspondientes de los demás % de cemento asfáltico:

% DE CEMENTO ASFÁLTICO.	FLUJO (KG)	ESTABILIDAD EN (MM).
4%	578.77	3.302
4%	802.59	3.175
4%	616	3.124
4.50%	504.16	3.429
4.50%	429.55	3.378
4.50%	504.16	3.073
5%	541.47	4.216
5%	429.55	3.2
5%	616.07	3.175
5.50%	504.16	4.953
5.50%	541.47	4.47
5.50%	578.77	3.683
6%	541.47	3.404
6%	504.16	3.607
6%	578.77	4.166

Para la obtención del Contenido Óptimo de asfalto se toma el criterio siguiente:

A.- Se determina el peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas asfálticas consideradas en el estudio, de acuerdo a los contenidos de cemento asfáltico.

B.- Se calcula el porcentaje de vacíos del material pétreo, **VAM**, de cada uno de los especímenes elaborados.

C.- Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, que forma cada uno de los especímenes.

D.- Se corrigen los valores de estabilidad de los especímenes, con la tabla anteriormente realizada.

E.- Se determina para cada serie de especímenes correspondientes a un mismo porcentaje, la proporción de cemento asfáltico, el peso volumétrico, porcentaje de vacíos del material pétreo, porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, estabilidad y flujo.

F.- Los especímenes deberán cumplir con las siguientes tolerancias:

➡ ± 5.0 % de contenido de asfalto.

➡ ± 2.0 % del peso volumétrico.

➡ ± 10.0 % de la estabilidad.

➡ ± 20.0 % del flujo.

G.- Utilizando el promedio de los valores que no exceden las tolerancias indicadas en el punto anterior, se dibujan las graficas que a continuación se indican.

➡ Peso Volumétrico vs. Contenido de asfalto.

➡ Por ciento de vacios del material pétreo vs. Contenido de Asfalto.

➡ Por ciento de vacios de la muestra compactada vs. Contenido de asfalto.

➡ Estabilidad vs. Contenido de asfalto.

➡ Flujo vs. Contenido de asfalto.

4.3.-TABLA DE CÁLCULO DEL MÉTODO MARSHALL.

Los resultados obtenidos de mi estudio del material pétreo del banco Trituradora grupo de Oro, que se encuentra ubicado en la salida a Salamanca a la altura de Cuto del porvenir; Al realizar su estudio me resulto el siguiente concentrado de la siguiente tabla.

De acuerdo a la norma de la **SCT- N-CMT-4-05-003/08** PARA UN NUMERO DE EJES EQUIVALENTES MAYOR DE UN MILLON Y MENOR A DIEZ MILLONES DE EJES EQUIVALENTES, se realiza una comparativa con los resultados obtenidos en el estudio del material pétreo, obteniendo el siguiente informe:

La mezcla asfáltica presenta los requisitos de calidad siguientes, para el punto **6.0%** de A.C. 20
el cual se puede recomendar como **contenido optimo de asfalto**.

CONCEPTO	NORMA SCT.	ENSAYE		
ESTABILIDAD	815.8 Kg Mínimo	817.57		Kg
FLUJO	2.0 a 3.5 mm	3.73		mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %	3.12		%
%V.A.M.	15.0 % Mínimo	16.10		%
P.V.M.	SIN NORMA	2,374.47		Kg/m ³
%V.A.F.	65 - 75%	80.95		%

De acuerdo con las condiciones que nos marca la Norma ya descrita anteriormente concluyo lo siguiente:

La estabilidad esta dentro del rango que nos pide la norma como mínimo para nuestro estudio.

En el flujo estamos un poco desfasados del marcado en norma de 2 a 3.5 mm, ya que esto se debe al momento de visualizar el micrómetro con tantito que se nos pase cambia nuestro valor; Pero para nuestro estudio es un valor aceptable.

El % de vacios, de acuerdo al resultado obtenido pasa ya que con la norma estamos dentro del rango establecido.

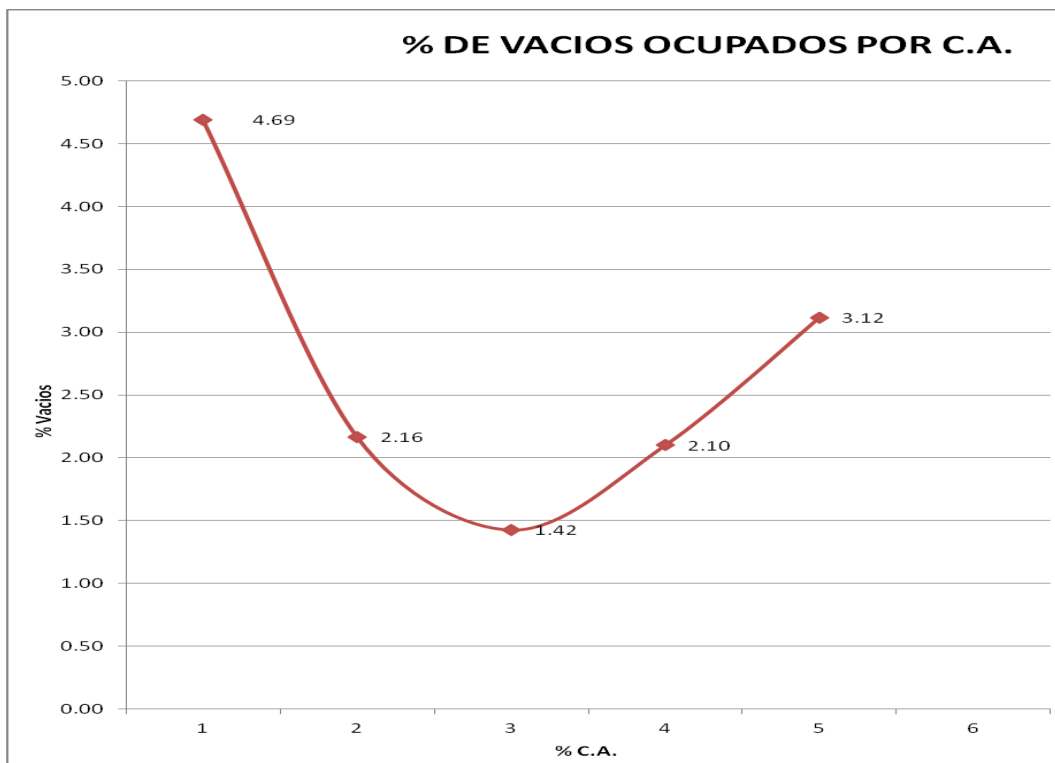
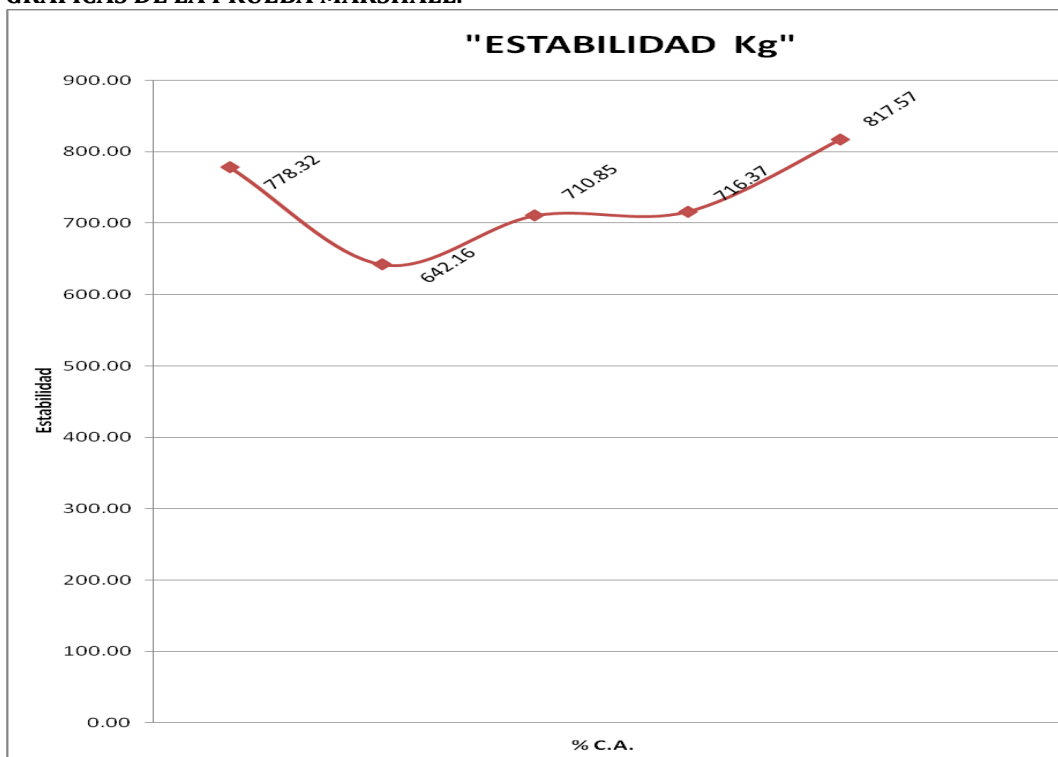
El % de V.A.M. el porcentaje que nos pide el reglamento es aceptable al compararlo con nuestro resultado de la prueba.

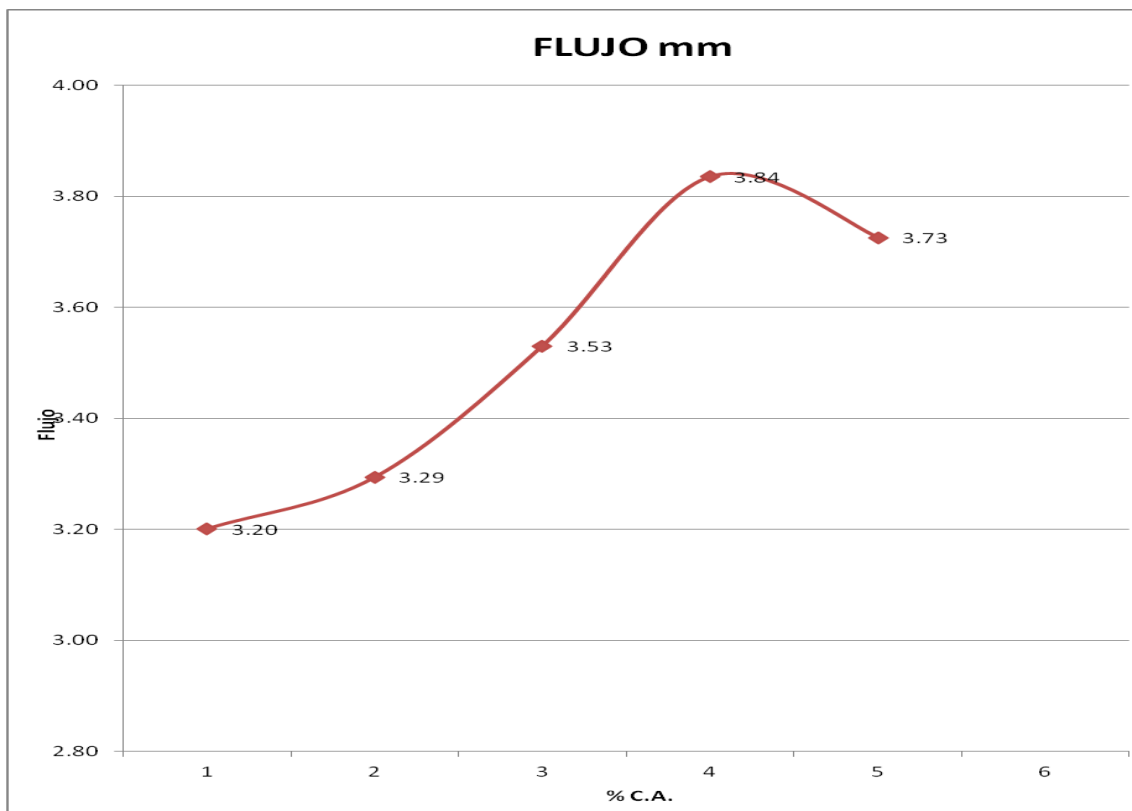
El P.V.M. este concepto obtenido no lo marca la norma, pero estamos con este peso aceptable de acuerdo con más cálculos.

El porcentaje de V.A.F. está desfasado del requerido por la norma, es aceptado para nuestro análisis de mi tesis.

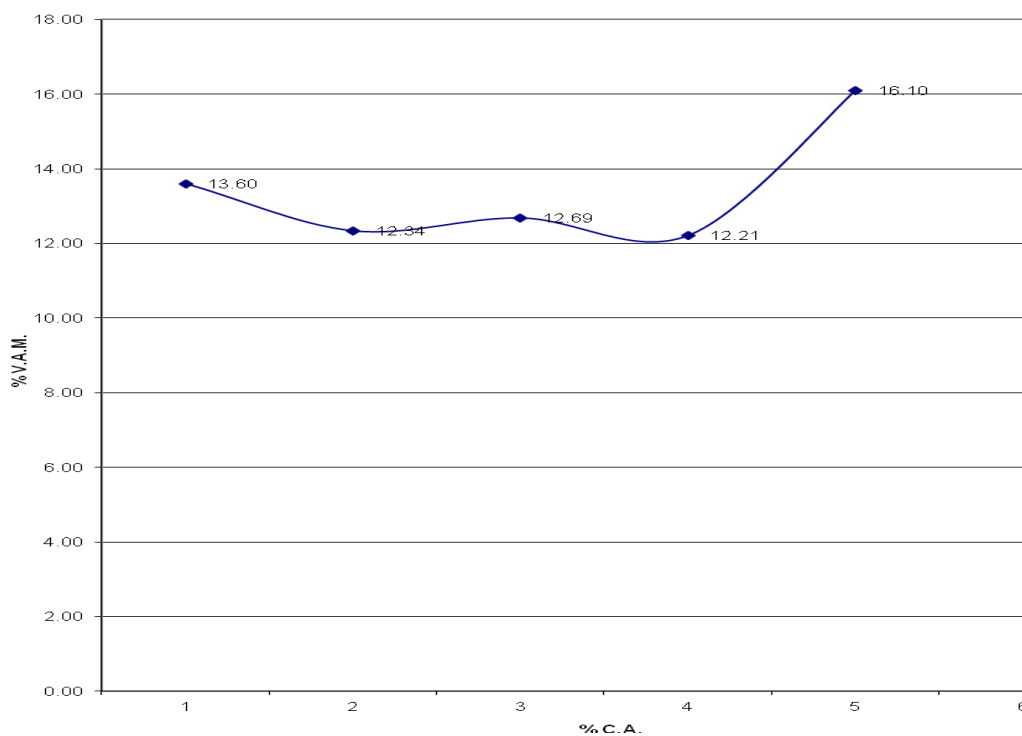
Del estudio que se realizo se determinaron las siguientes graficas por el Método Marshall.

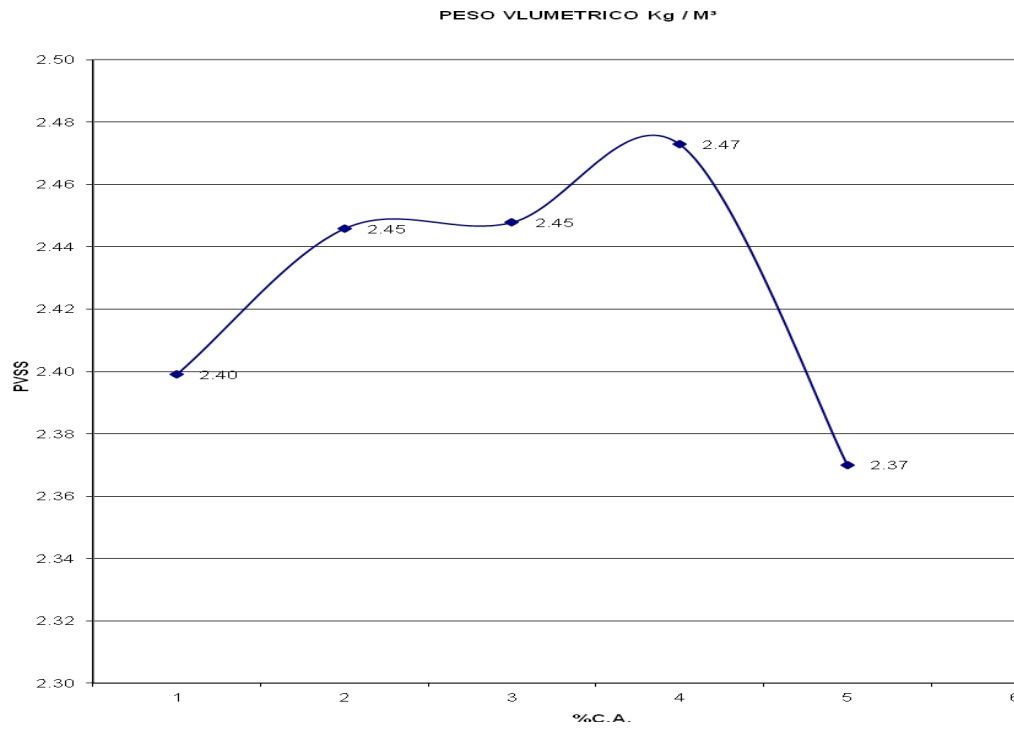
GRAFICAS DE LA PRUEBA MARSHALL.





% DE VACIOS DEL AGREGADO MINERAL





CAPITULO 5: INCORPORACIÓN DE HULE MOLIDO.

5.1.- INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se hará una comparativa entre mezclas asfálticas modificadas y no modificadas, el objeto primordial es el de buscar un aditivo que nos proporcione mejoras en las características de adherencia entre las partículas del material pétreo y el cemento asfáltico.

El procedimiento de uso de los aditivos va de acuerdo a sus características puesto que puede haber aditivos de tipo hule molido de las llantas que se desperdician de todos los autos de muchas comunidades, que son resistentes a los esfuerzos abrasivos por los neumáticos de los carros sobre la carpeta asfáltica.

La incorporación de este tipo de aditivos, en especial hule molido, es directamente al material pétreo ya que este creará una película sobre la partícula que reducirá la absorción del mismo, y con esto se logra cubrimiento, además de proporcionar un poder de adherencia superior entre las partículas del material pétreo y el cemento asfáltico.

Otra de las cosas importantes es el reciclado de las llantas usadas, es minimizar el problema de disposición de locales inadecuados, pues los neumáticos utilizados son descartados, además de ocupar mucho espacio en los rellenos sanitarios, algunos acaban sirviendo de locales para procreación de insectos y otros vectores de enfermedades, y algunos otros los queman y provocan grandes cantidades de esmog que a su vez contaminan el ecosistema, lo que no es muy conveniente para los seres vivientes de este planeta.

El hule molido de las llantas usadas puede ser incorporado en las mezclas asfálticas por medio de dos métodos diferentes denominados como proceso húmedo y proceso seco. En el proceso seco que es el que utilizaremos consiste en que el caucho es usado como una porción del agregado fino. La técnica de molienda más común es el proceso ambiental que consiste en la trituración mecánica.

Sin embargo, los productores ponen de manifiesto la falta de afinidad del producto asfáltico con el material pétreo como un problema al momento de la aplicación de las cargas provocadas por el tránsito de los vehículos y la lenta infiltración del agua a la estructura de un pavimento asfáltico.

Por eso es que la utilización de aditivos ha sido progresando favorablemente, ya que se han tenido resultados que permiten la mejor adherencia de los materiales pétreos con productos asfálticos, lo cual nos proporciona una vida útil más prolongada en nuestra carpeta asfáltica reflejándose directamente en un costo a largo plazo más bajo.

HULE MOLIDO DE NEUMÁTICOS.

Es un modificador de asfaltos que mejoran la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.

El empleo de los modificadores está condicionado al análisis de las ventajas que se obtengan de ellos para mejorar el comportamiento mecánico y la duración de los trabajos de pavimentación en cada caso específico y de acuerdo con las condiciones climáticas, de tránsito, la rigidez de la estructura del pavimento, la disponibilidad de los materiales, el periodo de vida útil considerado en el diseño, la estrategia de mantenimiento y el costo de operación de los vehículos, entre otros. Su uso depende de la evaluación económica de su aplicación, en comparación con otras opciones. Corresponde al proyectista la selección del tipo de modificador a emplear y su dosificación, para cumplir con los parámetros de comportamiento.

Características físicas del caucho

El caucho es una sustancia natural compleja (aunque también se puede sintetizar), que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica que se encuentra en el jugo lechoso de gran número de plantas tropicales.

Para la obtención de diversos artículos y principalmente el que nos interesa que son los neumáticos, se añade:

Agentes vulcanizantes.

Cargas distintas a mejorar la resistencia a la tracción.

Pigmentos para ocultar la coloración propia o para conferirle un color determinado.

5.1.1.- ORIGEN, COMPOSICION Y CARACTERISTICAS DE LOS NEUMÁTICOS.

Un neumático es básicamente un elemento que permite a un vehículo desplazarse en forma suave

a través de superficies lisas. Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire

el cual soporta al vehículo y su carga. Su invención se debe al norteamericano Charles Goodyear

Quién descubrió, accidentalmente en 1880, el proceso de vulcanización, con el que se da al caucho

la resistencia y solidez necesaria para fabricarlo.

La complejidad de la forma y de las funciones que cada parte del neumático tiene que cumplir se

Traduce también en una complejidad de los materiales que lo componen. El principal componente

del neumático es el caucho: casi la mitad de su peso.

La fabricación de neumáticos concentra un gran porcentaje de la industria del caucho

Constituyendo el 60 % de la producción anual del mismo.

Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar según

Sea el tipo de esfuerzo al que son sometidos, volviendo a su forma cuando el esfuerzo se retira.

El caucho natural se extrae a partir del árbol Hevea Brasiliensis que es un látex con partículas de

Caucho en suspensión. Después de un proceso de secado y de ahumado se utilizan diferentes

Productos. Hoy en día alcanza el 30 % del mercado de los cauchos, el resto lo ocupan los cauchos

Sintéticos, todos basados en hidrocarburos. Los tipos de caucho más empleados en la fabricación

de los neumáticos son:

Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar según

Sea el tipo de esfuerzo al que son sometidos, volviendo a su forma cuando el esfuerzo se retira.

En forma general el neumático está compuesto por los siguientes componentes:

- 1.- Caucho natural.
- 2.- Caucho sintético.
- 3.- Cuerdas textiles.
- 4.- Cargas de refuerzo:
 - a).- Negro de humo.
 - b).- Sílices y caolines.
- 4.- Antioxidantes.
- 5.- plastificantes.
- 6.- Activadores de vulcanización.
- 7.- Agentes vulcanizantes.
- 8.-Aceleradores de vulcanización.
- 9.- Azul ultramarino.

El negro de humo es un componente de gran importancia en los neumáticos, ya que les

Brinda resistencia contra la abrasión mientras protege al caucho de la luz ultravioleta.

AZUFRE

Durante el vulcanizado, el azufre une a las moléculas de caucho entre sí, proporcionándoles

Resistencia tanto al frío como al calor.

5.2.- EMPLEO DE HULE MOLIDO EN EL ENSAYE MARSHALL.



Figura 5.2.1.- Polvo de neumático.



Figura 5.2.2.- Incorporación de hule

El hule molido se aplica directamente al material pétreo antes de ser mezclado con el cemento asfáltico, ya que este polvo de neumático se debe tener cuidado en el proceso de mezclado con el material pétreo.

Para realizar la mezcla asfáltica se utilizará la misma granulometría del material pétreo que se empleo en la prueba Marshall del capítulo 4 anteriormente descrito.

MALLA N°		% PARCIAL RETENIDO	PESO TOTAL DE LA MUESTRA (GRS)	PESO DEL MATERIAL EN (GRS)
PASA	RETIENE			
1"	3/4"	5	1,100	55
3/4"	1/2"	14	1,100	154
1/2"	3/8"	15	1,100	165
3/8"	1/4"	21	1,100	231
1/4"	N° 4	5	1,100	55
N° 4	PASA N° 4	40	1,100	440
TOTAL		$\Sigma = 100$		$\Sigma = 1,100$

PASA N° 4	N° 10	18	1,100	198
N° 10	N° 20	8	1,100	88
N° 20	N° 40	4	1,100	44
N° 40	N° 60	2	1,100	22
N° 60	N° 100	1	1,100	11
N° 100	N° 200	3	1,100	33
N° 200	PASA N° 200	4	1,100	44
TOTAL		$\Sigma = 40$		$\Sigma = 440$



Figura 5.2.3.- Molde de pastillas.



Figura 5.2.4.- calentamiento del pétreo.

Se calienta el material pétreo a una temperatura de 160°C , se retira de la parrilla y se le agrega el 1 % y 2 % de polvo de neumático en peso de la muestra; se mezcla perfectamente el material con el polvo de neumático, con esto obtenemos la muestra inicial.

Hay que recordar que es muy importante no exponer el polvo de neumático directamente al fuego puesto que está en condiciones de quemarse o brincar a las manos, lo que es recomendable traer lentes y guantes.

El procedimiento para la elaboración de los especímenes se aplica de la misma manera, como el indicado de la Prueba Marshall del capítulo anterior. Con la condicionante de que para este caso se utilizará el contenido Óptimo de cemento asfáltico que resulto de **6.0%**, en todos los especímenes.

En este caso particular se realizaron 12 especímenes, 6 con parafina (tres con el 1% de polvo de neumático y 3 con el 2 % de hule neumático; Otras 6 sin impermeabilizar y sumergidas en agua durante 3 días a temperatura ambiente, después de transcurrir este tiempo se sometieron a un secado superficial por tres horas colgadas en el aire para obtener un buen dren del agua y secarlas superficialmente. Las otras seis pastillas media hora antes de la prueba estuvieron a baño maría con una temperatura de 60°C .

Para esta aplicación de polvo de neumático, se utilizara solo el Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico que resulto de 6.0% para todos los especímenes.

En este caso se realizaron 12 especímenes, seis para cada porcentaje de neumático reciclado molido, volviendo hacer el óptimo sin neumático.

Mencionando el peso de las pastillas en el aire con el 2% y 1 % de polvo neumático, obteniendo lo siguiente:

PESO DE LAS PASTILLAS EN EL AIRE	
2 % DE POLVO NEUMATICO	
ESPECIMEN	GRAMOS
E 1	1,281.50
E 2	1,285.00
E 3	1,243.50
E 4	1,234.00
E 5	1,282.00
E 6	1,315.50

PESO DE LAS PASTILLAS EN EL AIRE	
1 % DE POLVO DE NEUMATICO	
ESPECIMEN	GRAMOS
E 1	1,275.50
E 2	1,293.00
E 3	1,289.00
E 4	1,237.50
E 5	1,316.50
E 6	1,291.00



Figura 5.2.5.- Peso de muestra.



Figura 5.2.6.- Pastillas impermeabilizadas.

5.3.- PESO DE LAS PASTILLAS MAS PARAFINA EN EL (AIRE).



Figura 5.3.1.- Peso con impermeabilización.

Figura 5.3.2.- Pastilla con parafina.

Tabla con pesos de muestras representativas de 1 y 2 % de polvo neumático.

Peso de las pastillas + parafina en el (aire). 1 %			
Muestra	Peso (grs)	Muestra	Peso (grs)
1	1,309.00	4	N/A
2	1,313	5	N/A
3	1,254	6	N/A

Peso de las pastillas + Parafina en el (Aire), 2 %			
Muestra	Peso (grs)	Muestra	Peso (grs)
1	1,278.50	4	N/A
2	1,297	5	N/A
3	1,294.50	6	N/A

5.4.- PESO DE LAS MUESTRAS MAS PARAFINA EN EL (AGUA).

Se pesan las pastillas en el agua para el Método Marshall, se recomienda pesar las pastillas impermeabilizadas, pero esta vez por recomendación de la tesis se pesaron ambos grupos (Pastillas con parafina y sin parafina).



Figura 5.4.1.- Peso de pastilla con parafina.



Figura 5.4.2.- Muestra sin parafina.

PESO DE LA MEZCLA + PARAFINA EN EL AGUA 1 %			
ESPECIMEN	PESO (GRS).	ESPECIMEN	PESO (GRS)
E 1	760	E 4	774.5
E 2	756	E 5	777.5
E 3	731.5	E 6	789

PESO DE LA MEZCLA + PARAFINA EN EL AGUA 2 %			
ESPECIMEN	PESO (GRS).	ESPECIMEN	PESO (GRS).
E 1	758	E 4	749.5
E 2	776	E 5	780
E 3	795.5	E 6	778

Especímenes clasificados antes de probarlos sin parafina de 1 y 2 % de polvo neumático de las muestras representativas.



Figura 5.4.3.- Muestras antes de probar.



Figura 5.4.5.- Pastillas sin probar.

Una de las inquietudes importante es obtener el resultado de las pastillas sin ser impermeabilizadas (sin parafina), es conocer su resistencia que pueda arrojar los especímenes que no están impermeabilizados y saturados en agua a temperatura normal por tres días; para posteriormente ser drenadas por 3 horas y escurridas libremente en el aire para que estén secas superficialmente.



Figura 5.4.6.- Pastillas a saturar en agua.



Figura 5.4.7.- Muestras de 1 y 2 % neumático.

5.5.- PRUEBA MARSHALL CON ADICION DE POLVO NEUMÁTICO.

En las tablas se muestran las resistencias de los especímenes que se elaboraron adicionándole el 1 y 2 % de polvo de neumático en peso total de los agregados. De los cuales se probaron 12 muestras, 6 están impermeabilizadas por medio de parafina (3 del 1 % de polvo de neumático y 3 con el 2 %), estas 6 se sometieron a baño maría a 60 ° C.



Figura 5.5.1.-Pastillas con parafina.



Figura 5.5.2.- Solo las pastillas con parafina.

Tablas de la prueba Marshall de los especímenes incorporándole polvo de neumático.

PRUEBA MARSHALL CON EL 1 % DE POLVO NEUMATICO, CON PARAFINA.			SIN PARAFINA		
MUESTRA	MAQUINA	MICROMETRO	MUESTRA	MAQUINA	MICROMETRO
1	0.11	150	4	0.5	370
2	0.12	160	5	0.52	350
3	0.9	140	6	0.47	310

PRUEBA MARSHALL CON EL 2 % DE POLVO NEUMÁTICO, CON PARAFINA.			SIN PARAFINA.		
MUESTRA	MAQUINA	MICROMETRO	MUESTRA	MAQUINA	MICROMETRO
1	0.12	135	4	0.61	365
2	0.7	110	5	0.58	275
3	0.6	105	6	0.65	350



Figura 5.5.3.- Maquina de compresión.



Figura 5.5.4.- Pastillas después de compresión.

5.6.- TABLA DE CÁLCULO DEL METODO MARSHALL CON INCORPORACIÓN DE HULE MOLIDO.

DATOS DE LA MEZCLA									
ENSAYE	PROBET A	% 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
1 % P.N.C.P.	1	6.00	1,309.00	1,275.50	760.00	15.00	7.50	1.00	11.00
	2	6.00	1,313.00	1,293.00	756.00	18.00	7.50	1.00	12.00
	3	6.00	1,289.00	1,254.00	731.50	14.00	7.00	1.00	9.00
1 % P.N. S.P	1	6.00	1,257.50	1,257.50	774.50	37.00	7.00	1.00	5.00
	2	6.00	1,310.50	1,310.50	777.50	35.00	7.50	1.00	5.20
	3	6.00	1,291.00	1,291.00	789.00	31.00	7.50	1.00	4.70
2 % P.N.C.P.	1	6.00	1,281.50	1,278.50	758.00	13.50	8.00	1.00	12.00
	2	6.00	1,285.00	1,247.00	796.00	11.00	8.00	1.00	7.00
	3	6.00	1,294.50	1,243.50	795.00	10.50	8.00	1.00	6.00
2 % P.N.S.P	1	6.00	1,234.00	1,234.00	749.50	31.50	8.00	1.00	6.10
	2	6.00	1,282.00	1,282.00	780.00	27.50	8.00	1.00	5.80
	3	6.00	1,315.50	1,315.50	798.00	35.00	8.00	1.00	6.50

Según la Norma de la SCT N-CTM-4-05-003/08, para un número de ejes equivalentes mayor a un millón y menor a 10 millones. Se analiza los resultados obtenidos de los cálculos que se desarrollaron en esta práctica con la incorporación de polvo de neumático, identificar qué condiciones del comportamiento estructural de nuestra mezcla asfáltica.

Para el caso de los especímenes que se les impermeabilizo con parafina y los que se saturaron en agua a temperatura ambiente, de los cuales 6 pastillas se les impermeabilizo con parafina; tres con el 1 % y tres con 2% de polvo de neumático.

Tablas donde se muestra el comportamiento de los especímenes realizados:

Tabla 1.- Con 1 % de polvo neumático con parafina.

CONCEPTO	NORMA SCT.	ENSAYE	
ESTABILIDAD	815.8 Kg Mínimo	720.67	Kg
FLUJO	2.0 a 3.5 mm	10.67	mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %	0.20	%
%V.A.M.	15.0 % Mínimo	13.23	%
P.V.M.	SIN NORMA	2,460.00	Kg/m ³
%V.A.F.	65 - 75%	102.75	%

Tabla 2.- Con el 2% de polvo de neumático sin parafina.

CONCEPTO	NORMA SCT.	ENSAYE	
ESTABILIDAD	815.8 Kg Mínimo	1,579.33	Kg
FLUJO	2.0 a 3.5 mm	4.37	mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %	3.83	%
%V.A.M.	15.0 % Mínimo	10.09	%
P.V.M.	SIN NORMA	2,540.00	Kg/m ³
%V.A.F.	65 - 75%	144.74	%

Tabla 3.- Con el 2% de polvo de neumático con parafina.

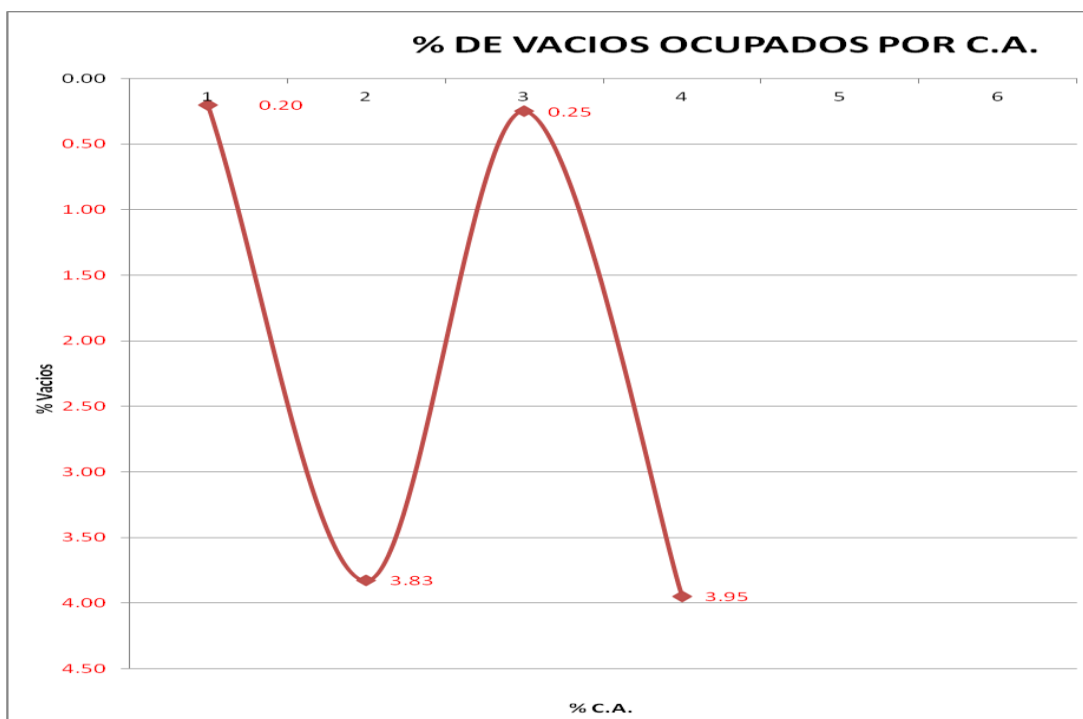
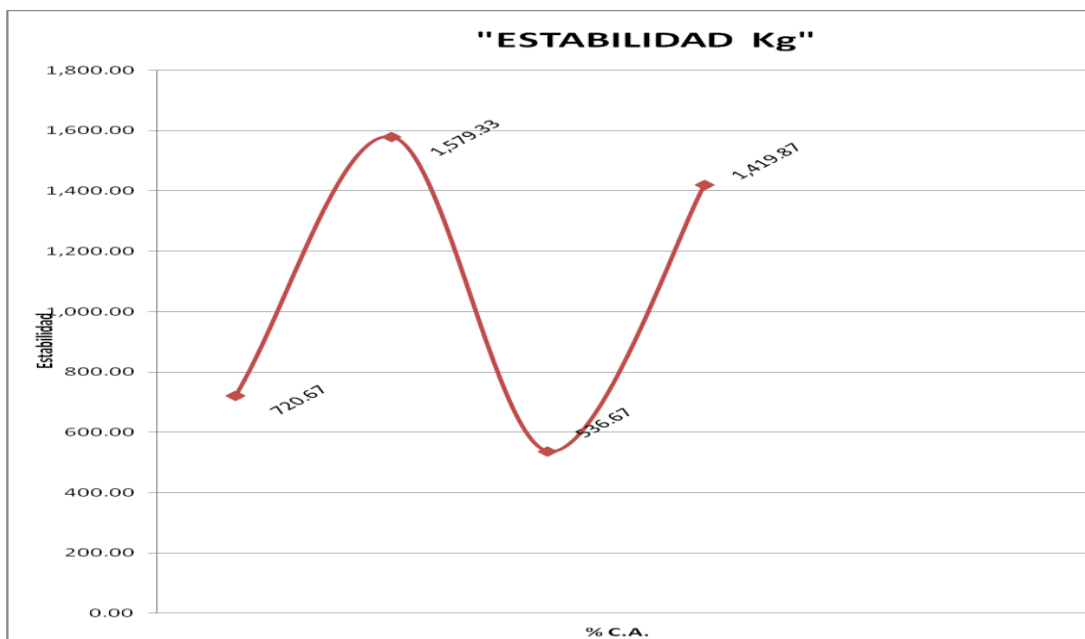
CONCEPTO	NORMA SCT.			ENSAYE		
ESTABILIDAD	815.8 Kg Mínimo			536.67		Kg
FLUJO	2.0 a 3.5 mm			8.33		mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %			4.80		%
%V.A.M.	15.0 % Mínimo			4.47		%
P.V.M.	SIN NORMA			2,700.00		Kg/m ³
%V.A.F.	65 - 75%			134.14		%

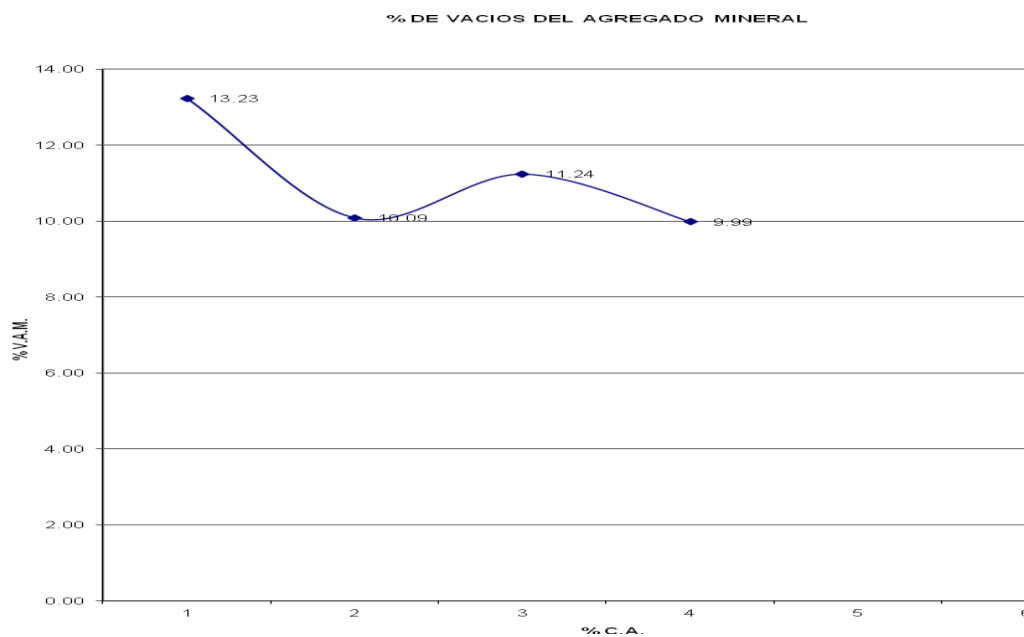
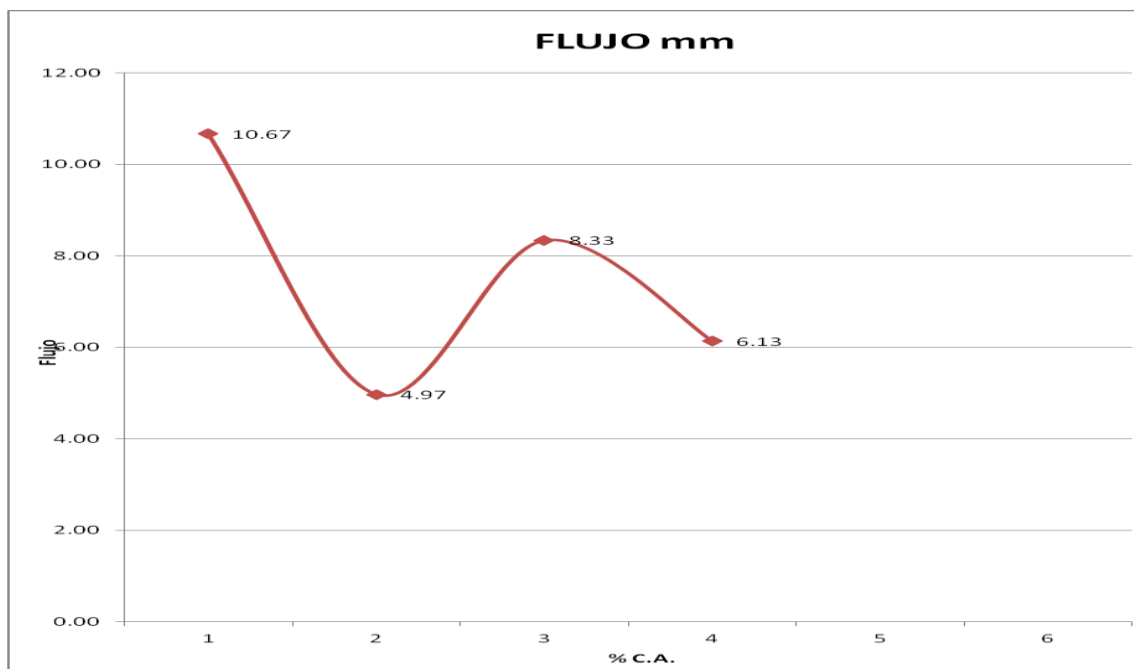
Finalmente tabla 4 donde se registran los resultados del 2 % de polvo de neumático sin impermeabilizarlos.

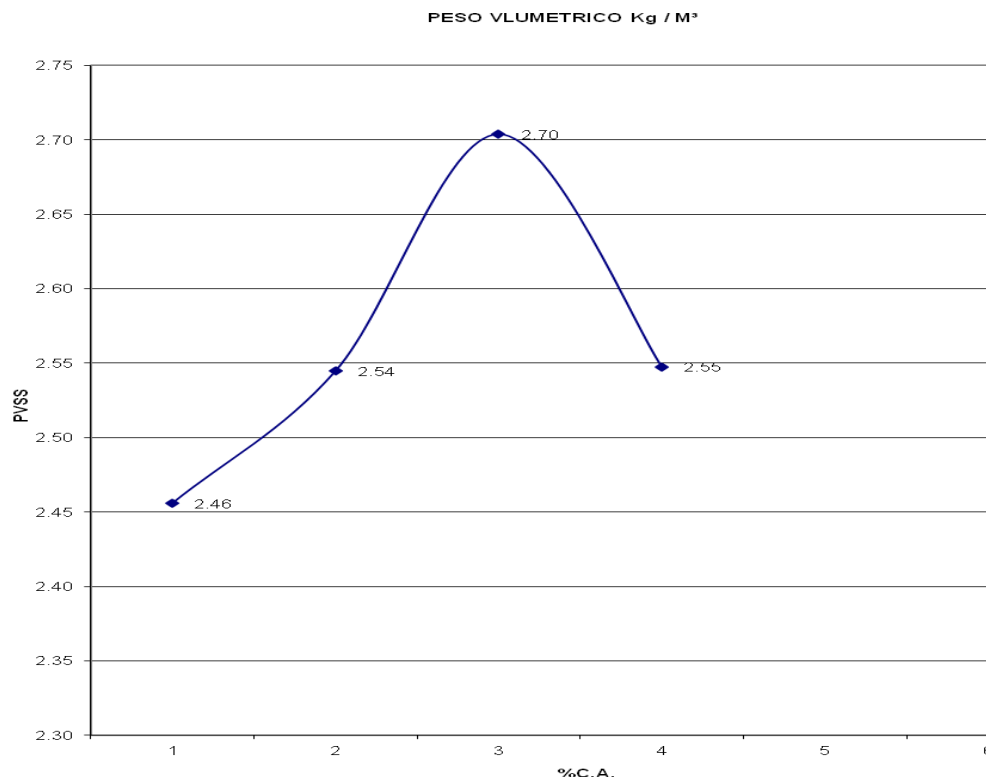
CONCEPTO	NORMA SCT.			ENSAYE		
ESTABILIDAD	815.8 Kg Mínimo			1,419.87		Kg
FLUJO	2.0 a 3.5 mm			6.13		mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %			3.95		%
%V.A.M.	15.0 % Mínimo			9.99		%
P.V.M.	SIN NORMA			2,550.00		Kg/m ³
%V.A.F.	65 - 75%			139.57		%

A continuación se muestran las graficas de resultados con especímenes modificados con hule molido:

GRAFICAS DE RESULTADOS DE LAS PASTILLAS CON INCORPORACION DE HULE MOLIDO.



GRAFICAS DE RESULTADOS DE LAS PASTILLAS CON INCORPORACION DE HULE MOLIDO.

GRAFICAS DE RESULTADOS DE LAS PASTILLAS CON INCORPORACION DE HULE MOLIDO.

5.7.-CONCLUSIONES GENERALES.

Una vez finalizados los trabajos correspondientes a la obtención del contenido óptimo de asfalto para una mezcla elaborada en caliente mediante el método Marshall para el agregado pétreo extraído del banco de materiales Trituradora Grupo de Oro, y con una granulometría de diseño acorde a la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), para un número de ejes equivalentes mayor de un millón de ejes equivalentes y menor a diez millones, se obtuvo como resultado de una serie de ensayos partiendo de un contenido mínimo de 4.5 % de cemento asfáltico del número 20 (AC-20), con incrementos de 0.5 % del mismo hasta un 6.0 % teniendo como resultado óptimo el 6.0 % de AC-20 como óptimo para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente. Para la obtención del contenido óptimo se analizaron de entre muchos datos las curvas o gráficas de: estabilidad, % de vacíos ocupados por C.A, flujo, % de vacíos del agregado mineral y peso volumétrico. Dando como resultado que el mejor comportamiento lo presentaron los especímenes elaborados con la adición del 6.0 % de AC-20

Para los trabajos y fines específicos que persigue la presente tesis se empleó como base el 6.0 % de AC-20 para la elaboración de los especímenes Marshall que llevaron en sus componentes la incorporación de hule molido, cubriendo con ello los requerimientos de material ligante para ese agregado pétreo en específico y enfocándonos únicamente en estudiar las características y comportamiento de la mezcla asfáltica elaborada en caliente por el Método Marshall, para lo cual se propusieron en incorporación directa dos porcentajes: seis especímenes con el 1 % de hule molido y seis más con el 2 % de hule molido. Derivado de lo anterior se separaron tres especímenes de cada grupo sometiéndolos a saturación directa en agua a temperatura ambiente un periodo de 72 horas, y un grupo más de 6 pastillas con tres especímenes de cada porcentaje de hule molido los cuales se impermeabilizaron con parafina y se sometieron a baño maría 30 minutos a 60 ° C antes de la prueba a compresión Marshall de manera convencional.

Una vez elaborados los especímenes Marshall con la adición de hule molido y separados los dos grupos, marcando el grupo 1 con seis especímenes (3 con el 1% y tres con el 2 % de hule molido) como los especímenes impermeabilizados con parafina según el procedimiento Marshall convencional y el grupo 2 con seis especímenes (3 con el 1% y tres con el 2 % de hule molido) no impermeabilizados con parafina, saturados en agua durante 72 horas. Los 12 especímenes se ensayaron a compresión en la máquina Marshall de manera convencional.

Una vez ensayados los especímenes mediante los ensayos Marshall y haciendo uso de la tabla de cálculos Marshall y utilizando la ecuación de calibración de la máquina de compresión se obtuvieron entre otros datos las graficas: estabilidad, % de vacíos ocupados por C.A, flujo, % de vacíos del agregado mineral y peso volumétrico. Además de que se considero como factor de análisis importante la estabilidad y flujo de los especímenes para conocer la resistencia de la mezcla asfáltica bajo las modalidades en análisis. Como conclusión predominante se tiene que: Los especímenes elaborados y probados de manera convencional según procedimiento Marshall presentaron mayor flujo respecto a los especímenes saturados en agua a 72 horas sin impermeabilizar y sin someter a baño maría 30 minutos a 60 ° C previo ensaye en la máquina de compresión Marshall. Además de ello analizando las graficas se observa claramente que los grupos de especímenes saturados y no impermeabilizados presentan un mayor comportamiento y por ende mayor resistencia a la prueba de compresión ya que presentaron un flujo mucho menor respecto a los especímenes del otro grupo. Por lo tanto se puede concluir que la temperatura a la que se someten los especímenes en el baño maría y el hecho que la parafina interviene directamente con la conservación de calor en el espécimen con hule molido esto genera que se pierda cierto grado de compactación en la mezcla lo cual al momento de ensayarla disminuye su estabilidad como consecuencia del aumento de flujo en estos especímenes, caso contrario en el otro grupo de especímenes en donde se tuvo un incremento en la estabilidad y un flujo muy bajo como consecuencia fueron los especímenes que cumplieron y rebasaron los requerimientos que marca la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) para mezclas asfálticas convencionales elaboradas en caliente por el Método Marshall.

Se propone en una siguiente etapa aumentar el número de especímenes en ambos grupos así como elaborar un comparativo con el mismo número de especímenes de este trabajo pero elaborados de manera convencional y con un 6.0 % de AC-20 para hacer un comparativo más amplio y que pueda brindar un panorama mejor entre las bondades de emplear hule molido y una mezcla asfáltica convencional.

5.8.- BIBLIOGRAFÍA.

1.- CTM. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES.(N-CTM-4-04/01).

Parte.- 4.- materiales para pavimentos.

Título.- 04.- materiales pétreos para mezclas asfálticas.

1.1.- MMP. MÉTODOS 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 Asfálticas.

1.2.- MMP.- MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (M-MMP-4-04-003/02).

Capítulo.- Densidad Relativa de materiales pétreos para mezclas asfálticas.

1.3.- MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES (M-MMP-4-04-004/02).

Capítulo.- Equivalente de Arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas.

1.4.- MÉTODO DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES.(M-MMP-4-04-006/02)

Capítulo.- Desgaste Mediante la prueba de los Ángeles de materiales pétreos para mezclas asfálticas.

2.- FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL MATERIALES ASFÁLTICOS (MANUAL DE PRUEBAS).

3.- FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, LABORATORIO DE MATERIALES “ING. LUIS SILVA RUELAS”. (SECCIÓN DE MATERIALES ASFÁLTICOS).

4.- GOOGLE.COM.MX

ANEXO

A).- MARSHALL DEL CONTENIDO OPTIMO.

PROBETA	%DE C.A. POR PESO DE AGREGADO	% DE ASFALTO POR PESO DE MEZCLA	PESO (GRS)				VOLUMEN (CM)				ESPECIMEN PESO VOLUMET. (KG/M³)	DENSIDAD TEORICA MAXIMA	VOLUMENES % TOTAL		
			ESPECIMEN + PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN SIN PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN + PARAFINA EN AGUA	PARAFINA	ESPECIMEN + PARAFINA	PARAFINA	ESPECIMEN	CEMENTO ASFALTICO			MATERIAL PETREO	VACIOS	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	
						c - d	c - e	f / Dp	g - h	d / i		bj/DCA	100-bj/dmp	100-l-m	
1	4.00	3.85	1171.0	1136.00	657.00	35.10	514.10	42.29	4718.1	2.41	2.51	8.95	86.71	4.34	
2	4.00	3.85	1158.80	1128.90	657.00	29.90	50180	36.02	465.78	2.42	2.51	9.01	87.28	3.71	
3	4.00	3.85	1160.50	1129.90	646.00	30.60	514.50	36.87	477.63	2.37	2.51	8.79	85.19	6.02	
										2.40				4.69	
1	4.50	4.31	1163.20	1146.00	670.30	17.20	492.90	20.72	472.18	2.43	2.49	10.10	86.99	2.92	
2	4.50	4.31	1188.30	1137.80	666.70	50.50	52160	60.84	460.76	2.47	2.49	10.27	88.50	122	
3	4.50	4.31	1165.60	1134.80	663.60	30.80	502.00	37.11	464.89	2.44	2.49	10.16	87.49	2.36	
										2.45				2.16	
1	5.00	4.76	1179.30	1145.50	671.10	33.80	508.20	40.72	467.48	2.45	2.47	11.27	87.40	132	
2	5.00	4.76	1160.90	1142.30	669.50	18.60	49140	22.41	468.99	2.44	2.47	11.21	86.88	191	
3	5.00	4.76	1175.60	1143.00	671.20	32.60	504.40	39.28	465.12	2.46	2.47	11.31	87.66	104	
										2.45				1.42	
1	5.50	5.21	1189.70	1137.20	667.00	52.50	522.70	63.25	459.45	2.48	2.46	12.47	87.87	0.34	
2	5.50	5.21	1157.80	1135.20	664.40	22.60	493.40	27.23	466.17	2.44	2.46	12.27	86.45	128	
3	5.50	5.21	1169.50	1139.30	678.90	30.20	490.60	36.39	454.21	2.51	2.46	12.63	89.05	168	
										2.47				2.10	
1	6.00	5.66	1171.40	1162.90	676.20	8.50	495.20	10.24	484.96	2.40	2.44	13.11	84.73	2.16	
2	6.00	5.66	1161.00	1161.20	674.90	0.20	486.10	0.24	486.34	2.39	2.44	13.06	84.36	2.58	
3	6.00	5.66	1161.50	1164.30	668.90	2.80	482.60	5.42	498.02	2.34	2.44	12.79	82.60	4.61	
										2.37				3.12	

% VACIOS		ESTABILIDAD (KG)					FLUJO EN (0.075")	FLUJO EN (M.M.)	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES
MATERIAL PETREO	LLENADOS POR EL CEMENTO ASFALTICO	LECTURA MICROMETRO	ALTURA ESPECIMEN (cm)	ESTABILIDAD (KG)	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA (KG)			
o	p	q	z	s	t	u			
100-m	100			qr		s.t	v	w	
13.29	67.32	5.00	6.55	690.00	0.96	662.40	0.08	3.30	DENSIDAD DEL MATERIAL GRUESO :
12.72	70.83	2100	6.43	966.00	100	966.00	0.08	3.18	
14.81	59.37	16.00	6.48	736.00	0.96	706.56	0.08	3.12	DENSIDAD DEL MATERIAL FINO :
13.60	65.84					778.32		3.20	
13.01	77.60	5.00	6.48	690.00	0.96	662.40	0.09	3.43	DENSIDAD DEL MATERIAL FINO :
11.50	89.38	13.00	6.53	598.00	0.96	574.08	0.09	3.38	
12.51	81.15	15.00	6.38	690.00	100	690.00	0.08	3.07	DENSIDAD DEL MATERIAL FINO :
12.34	82.71					642.16		3.29	
12.60	89.51	16.00	6.48	736.00	0.96	706.56	0.11	4.22	DENSIDAD DEL MATERIAL FINO :
13.12	85.41	13.00	6.40	598.00	100	598.00	0.08	3.20	
12.34	91.59	18.00	6.30	828.00	100	828.00	0.08	3.18	DENSIDAD DEL MATERIAL FINO :
12.69	88.83					710.85		3.53	
12.13	102.78	15.00	6.48	690.00	0.96	662.40	0.10	3.95	DENSIDAD DEL MATERIAL FINO :
13.55	90.52	16.00	6.40	736.00	100	736.00	0.11	4.47	
10.95	115.34	17.00	6.53	782.00	0.96	750.72	0.08	3.08	DENSIDAD DEL MATERIAL FINO :
12.21	102.88					716.37		3.84	
15.27	85.86	18.00	6.43	828.00	100	828.00	0.09	3.40	DENSIDAD DEL MATERIAL FINO :
15.64	83.50	17.00	6.45	782.00	0.96	750.72	0.09	3.61	
17.40	73.50	19.00	6.40	874.00	100	874.00	0.11	4.17	DENSIDAD DEL MATERIAL FINO :
16.10	80.95					817.57		3.73	

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

1.- La mezcla asfáltica presenta los requisitos de calidad siguientes, para el punto 6.0% de A.C. 20 el cual se puede recomendar como contenido optimo de asfalto.

CONCEPTO	NORMA SCT.	ENSAYE		
ESTABILIDAD	815.8 Kg Mínimo	817.57		Kg
FLUJO	2.0 a 3.5 mm	3.73		mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %	3.12		%
%V.A.M.	15.0 % Mínimo	16.10		%
P.V.M.	SIN NORMA	2,374.47		Kg/m³
%V.A.F.	65 - 75%	80.95		%

% DE C.A.=	4.00	% DE C.A.=	4.50	% DE C.A.=	5.00
% DE M.P.=	96.00	% DE M.P.=	95.5	% DE M.P.=	95
DCA =	1.035	DCA =	1.035	DCA =	1.035
DMP =	2.67	DMP =	2.67	DMP =	2.67
DMT=	2.51	DMT=	2.49	DMT=	2.47

% DE C.A.=	5.50	% DE C.A.=	6.00	% DE C.A.=	0.00
% DE M.P.=	94.5	% DE M.P.=	94	% DE M.P.=	100
DCA =	1.035	DCA =	1.035	DCA =	1.035
DMP =	2.67	DMP =	2.67	DMP =	2.67
DMT=	2.46	DMT=	2.44	DMT=	2.67

DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (D C A) =	1.035
DENSIDAD MATERIAL PETREO (DMP) =	2.67
DESIDAD PARAFINA (DP) =	0.83

DATOS DEL MATERIAL PÉTREO					
ABSORCION (%) :	1.29 %				
DENSIDAD mat.grueso:	2.67				
DENSIDAD mat.fino:	2.67				
P.V.S.S. (kg / m³) :	1,703.51 kg/m³				
DESGASTE:	15.00 %				
EQUIVALENTE DE ARENA :	77.98 %				
CONTRACCION LINEAL :	0.30 cm				
DENSIDAD MAT.PETREO:	2.67				
DATOS DEL CEMENTO ASFALTICO					
DENSIDAD :	1.035				
CONT.MINIMO (%C.A.)	4.00				
DATOS DE LA PARAFINA					
DENSIDAD :	0.83				
DATOS DEL EQUIPO					
CTE. DEL ANILLO :	46.00				

ESTABILIDAD kg/cm²	
%C.A.	Estabilidad
4.00	778.32
4.50	642.16
5.00	710.85
5.50	716.37
6.00	817.57

%VACIOS	
%C.A.	%de Vacios
4.00	4.69
4.50	2.16
5.00	1.42
5.50	2.10
6.00	3.12

FLUJO mm	
%C.A.	Flujo mm
4.00	3.20
4.50	3.29
5.00	3.53
5.50	3.84
6.00	3.73

% V.A.M.	
%C.A.	% V.A.M.
4.00	13.60
4.50	12.34
5.00	12.69
5.50	12.21
6.00	16.10

P.V.S.S. Kg/m³	
%C.A.	PVSS
4.00	2.40
4.50	2.45
5.00	2.45
5.50	2.47
6.00	2.37

ANEXO

B).- MÉTODO MARSHALL INCORPORÁNDOLE HULE MOLIDO.

DATOS DEL MATERIAL PÉTREO					
ABSORCION (%) :	1.29	%			
DENSIDAD mat.grueso:	2.67				
DENSIDAD mat.fino:	2.67				
P.V.S.S. (kg / m³)	1,703.51	kg/m³			
DESGASTE :	15.00	%			
EQUIVALENTE DE ARENA :	77.98	%			
CONTRACCION LINEAL :	0.30	cm			
DENSIDAD MAT.PETREO:	2.67				
DATOS DEL CEMENTO ASFALTICO					
DENSIDAD :	1.035				
CONT.MINIMO (%C.A.)	4.00				
DATOS DE LA PARAFINA					
DENSIDAD :	0.83				
DATOS DEL EQUIPO					
CTE. DEL ANILLO :	46.00				

DATOS DE LA MEZCLA									
ENSAYE	PROBET A	% 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
1 % P.N.C.P.	1	6.00	1,309.00	1,275.50	760.00	15.00	7.50	1.00	11.00
	2	6.00	1,313.00	1,293.00	756.00	18.00	7.50	1.00	12.00
	3	6.00	1,289.00	1,254.00	731.50	14.00	7.00	1.00	9.00
1 % P.N. S.P	1	6.00	1,257.50	1,257.50	774.50	37.00	7.00	1.00	5.00
	2	6.00	1,310.50	1,310.50	777.50	35.00	7.50	1.00	5.20
	3	6.00	1,291.00	1,291.00	789.00	31.00	7.50	1.00	4.70
2 % P.N.C.P.	1	6.00	1,281.50	1,278.50	758.00	13.50	8.00	1.00	12.00
	2	6.00	1,285.00	1,247.00	796.00	11.00	8.00	1.00	7.00
	3	6.00	1,294.50	1,243.50	795.00	10.50	8.00	1.00	6.00
2 % P.N.S.P	1	6.00	1,234.00	1,234.00	749.50	31.50	8.00	1.00	6.10
	2	6.00	1,282.00	1,282.00	780.00	27.50	8.00	1.00	5.80
	3	6.00	1,315.50	1,315.50	798.00	35.00	8.00	1.00	6.50

ESTABILIDAD kg/cm²		%VACIOS		% V.A.M.	
%C.A.	Estabilidad	%C.A.	%de Vacios	%C.A.	% V.A.M.
1%P.N.C.P.	720.67	1 % P.N.C.P.	0.20	1 % P.N.C.P.	13.23
1%P.N. S.P	1,579.33	1 % P.N. S.P	3.83	1 % P.N. S.P	10.09
2%P.N.S.P	536.67	2 % P.N.S.P	0.25	2 % P.N.S.P	11.24
2%P.N.S.P	1,419.87	2 % P.N.S.P	3.95	2 % P.N.S.P	9.99

FLUJO mm		P.V.S.S. Kg/m ³	
%C.A.	Flujo mm	%C.A.	PVSS
1 % P.N.C.P.	10.67	1 % P.N.C.P.	2.46
1 % P.N. S.P	4.97	1 % P.N. S.P	2.54
2 % P.N.S.P	8.33	2 % P.N.S.P	2.70
2 % P.N.S.P	6.13	2 % P.N.S.P	2.55

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

CONCEPTO		NORMA SCT.		ENSAYE		
ESTABILIDAD		815.8 Kg Mínimo		720.67		Kg
FLUJO		2.0 a 3.5 mm		10.67		mm
%VACIOS		3.0 a 5.0 %		0.20		%
%V.A.M.		15.0 % Mínimo		13.23		%
P.V.M.		SIN NORMA		2,460.00		Kg/m ³
%V.A.F.		65 - 75%		102.75		%

CONCEPTO		NORMA SCT.		ENSAYE		
ESTABILIDAD		815.8 Kg Mínimo		1,579.33		Kg
FLUJO		2.0 a 3.5 mm		4.37		mm
%VACIOS		3.0 a 5.0 %		3.83		%
%V.A.M.		15.0 % Mínimo		10.09		%
P.V.M.		SIN NORMA		2,540.00		Kg/m ³
%V.A.F.		65 - 75%		144.74		%

CONCEPTO		NORMA SCT.		ENSAYE		
ESTABILIDAD		815.8 Kg Mínimo		536.67		Kg
FLUJO		2.0 a 3.5 mm		8.33		mm
%VACIOS		3.0 a 5.0 %		4.80		%
%V.A.M.		15.0 % Mínimo		4.47		%
P.V.M.		SIN NORMA		2,700.00		Kg/m ³
%V.A.F.		65 - 75%		134.14		%

CONCEPTO		NORMA SCT.		ENSAYE		
ESTABILIDAD		815.8 Kg Mínimo		1,419.87		Kg
FLUJO		2.0 a 3.5 mm		6.13		mm
%VACIOS		3.0 a 5.0 %		3.95		%
%V.A.M.		15.0 % Mínimo		9.99		%
P.V.M.		SIN NORMA		2,550.00		Kg/m ³
%V.A.F.		65 - 75%		139.57		%

