



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL
COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA
MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA EN
CALIENTE CON ADICIÓN DE POLVO DE
NEUMÁTICO Y UNA MEZCLA ELABORADA
EN CALIENTE DE MANERA
CONVENCIONAL”.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

P.I.C. OMAR RODRIGUEZ HERNANDEZ

ASESOR:

Ingeniero civil Alejandro Peralta Arnaud

Co Asesor:

Maestro en Ingeniería Isaid Campa Domínguez

Morelia, Mich., Marzo del 2017.

Carta de aceptación de trabajo



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 10 de Noviembre de 2014

C. OMAR RODRIGUEZ HERNANDEZ

P R E S E N T E

Asunto: Carta de Aceptacion
de Inicio de Trabajo.

Por medio de la presente y en atención a su solicitud para iniciar el desarrollo de su trabajo relativo a la Licenciatura en Ingeniería Civil, una vez analizado el tema propuesto, se le comunica la aceptación a fin de que lleve a cabo el desarrollo del trabajo denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA EN CALIENTE CON ADICIÓN DE POLVO DE NEUMÁTICO Y UNA MEZCLA ELABORADA EN CALIENTE DE MANERA CONVENCIONAL.", mismo que será asesorado por el profesor Alejandro Peralta Arnaud.

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

ATENTAMENTE

JOAQUIN CONTRERAS LOPEZ
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil

Carta de impresión de trabajo



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 02 de Noviembre de 2015

C. OMAR RODRIGUEZ HERNANDEZ
PRESENTE

Asunto: Carta de Aceptación
de Impresión de trabajo.

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

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

ATENTAMENTE



WILFRIDO MARTINEZ MOLINA
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil
FACULTAD DE
INGENIERIA CIVIL
U.M.S.N.H.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Esta tesis está dedicada a mis padres pues fue gracias a ellos que pude terminar mis estudios en esta gran institución y ahora puedo aportar a la sociedad mis conocimientos adquiridos a lo largo de toda la carrera.

En memoria: Quiero hacer un agradecimiento especial a la memoria de mi padre que ya no está con nosotros pero que sin duda fue una pieza clave para que yo eligiera estudiar la carrera de Ingeniería Civil. Lamentablemente no pudo presenciar este momento pero sé que estaría muy orgulloso de este logro que también es de él.

A dios: Agradezco también a dios que pese a todos los obstáculos que enfrente a lo largo de mi carrera universitaria nunca dejo que bajara los brazos y por el contrario me daba la fuerza para continuar.

A mis familiares: Un agradecimiento especial a todos mis otros familiares como mis hermanos, tíos, tías y mi abuelita que siempre fueron un gran apoyo en todos los aspectos y a todos ellos va dedicado este logro también.

A mis profesores: Quiero dedicar un afectuoso agradecimiento también a todos mis profesores quienes a lo largo de estos maravillosos 5 años me pusieron retos muy importantes y de los que aprendí demasiado y me forje como un gran profesionalista.

A mi asesor: A mi asesor un especial agradecimiento ya que él fue quien me instruyo en esta tesis y me apoyo demasiado en la elaboración de la misma.

A mis amigos: Por ultimo quiero agradecer a todos mis amigos ya que sin su apoyo no hubiese sido posible todo esto. Muchas gracias por estar en los buenos y malos momentos.

Índice

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INTRODUCCIÓN.	9
CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES.	10
1.- ANTECEDENTES	10
1.1.- PROCEDENCIA DEL MATERIAL PÉTREO	11
1.2.- CEMENTO ASFALTICO.....	11
1.3.- POLVO DE NEUMÁTICO	12
CAPÍTULO II.- ANÁLISIS DE MATERIAL PÉTREO.....	14
2.- MATERIAL PÉTREO	14
2.1.- TIPO DE MATERIAL QUE SE TRITURA EN PLANTA	15
2.1.1.- <i>Basalto</i>	15
2.2.- IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN	16
2.2.1.- <i>Manejo del material pétreo</i>	17
2.3.- PRUEBAS DE LABORATORIO DEL MATERIAL PÉTREO.....	19
2.3.1.- <i>Peso volumétrico seco suelto (p.v.s.s.)</i>	19
2.3.2.- <i>Granulometría de materiales pétreos para mezclas asfálticas</i>	21
2.3.3.- <i>Prueba de densidad relativa de materiales pétreos para mezclas asfálticas y absorción</i>	25
2.3.4.- <i>Equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas</i>	27
2.3.5.- <i>Desgaste mediante la prueba del desgaste de los ángeles</i>	31
2.4.- RESUMEN DE RESULTADOS	34
CAPÍTULO III.- ANÁLISIS DE MATERIAL ASFÁLTICO.....	35
3.- CEMENTO ASFÁLTICO.....	35
3.1.- DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO.....	35
3.1.2.- <i>Prueba de penetración en cementos asfálticos</i>	36
3.1.3.- <i>Punto de inflamación Cleveland en cementos asfálticos</i>	39
3.1.4.- <i>Punto de reblandecimiento en cementos asfálticos</i>	40
3.1.5.- <i>Prueba de ductilidad de cementos asfálticos</i>	42
3.2.- RESULTADOS DE PRUEBAS AL CEMENTO ASFALTICO	44
CAPÍTULO IV.- ELABORACIÓN Y PRUEBA DE ESPECÍMENES.....	45
4.- DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	45
4.1.- MÉTODO MARSHALL	46
4.1.1.- <i>Calculo de contenido mínimo de asfalto</i>	46
4.2.- PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN Y PRUEBA DE PASTILLAS MARSHALL	53
4.2.1.- <i>Prueba de especímenes en prensa Marshall</i>	59
4.3.- TABLA DE CÁLCULO DEL MÉTODO MARSHALL	65
4.4.- INCORPORACIÓN DEL POLVO DE NEUMÁTICO.	68
4.4.1.- <i>Polvo de neumáticos</i>	69
4.4.2.- <i>Características físicas del caucho</i>	69
4.4.3.- <i>Elaboración de especímenes con adición de polvo de neumático por el método Marshall</i>	71
4.4.3.2.- <i>Peso de las muestras + parafina en el (agua)</i>	76
4.4.4.- <i>Prueba Marshall con adición de polvo de neumático</i>	77

4.5.- RESUMEN DE CÁLCULO DEL MÉTODO MARSHALL CON ADICIÓN DE POLVO DE NEUMÁTICO	79
4.5.1.- <i>Graficas de la prueba Marshall para especímenes con adición de polvo de neumático.....</i>	<i>81</i>
CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
BIBLIOGRAFÍA.....	87

RESUMEN

El método de diseño de Mezclas asfálticas elaboradas en caliente Marshall, es un método de diseño empleado en el Mundo desde la Segunda Guerra Mundial, adoptado en México y en gran parte de Latinoamérica por ser sencillo tanto en equipo para elaborar las pruebas; de campo y de laboratorio, así como que para su análisis y capacitación no se requieren de cosas muy complejas, siendo un método verificable y universal. En este trabajo de tesis hicimos el comparativo de un diseño de una mezcla asfáltica elaborada de forma convencional y una mezcla elaborada con el mismo agregado y adición de polvo de neumático. Como datos importantes de este estudio tenemos que el comportamiento observado tanto en pruebas de laboratorio durante la fase de diseño, como para la fase de pruebas fue *inesperado e interesante*, dado que encontramos que si manejamos el diseño de una mezcla asfáltica especial como lo es, *la adición de un polímero* genera un comportamiento hasta cierto punto elástico en la mezcla y que las temperaturas tanto de mezclado, tendido y compactación son *diferentes y deberán contener especificaciones especiales*, ya que observamos un comportamiento distinto en la mezcla convencional y la modificada con el polvo de neumático.

En documento contiene datos técnicos sobre el diseño de una mezcla asfáltica por el Método Marshall, una galería fotográfica enunciativa del proceso, normativa técnica especializada y aplicable a México para su correcta elaboración, así como de las conclusiones del manejo de una mezcla modificada y datos adicionales de su manejo.

Palabras clave

Mezcla asfáltica en caliente, Asfalto, Carretera, Goma, Pavimento.

ABSTRACT

The Hot Mix Asphalt design method developed by Bruce Marshall, is a design method used in the world since World War II, adopted in Mexico and much of Latin America to be both simple to elaborate testing equipment; Field and laboratory, as well as that for analysis and training not require very complex things, being verifiable and universal method. In this thesis we made a comparative design of an asphalt mixture prepared in a conventional manner and a mixture made with the same aggregate and adding crumb rubber. As important data of this study we have observed behavior both in laboratory tests during the design phase to the test phase was unexpected and interesting, as we found that if we handle the design of a special asphalt mix as it is, adding a polymer generates a behavior to some ribbing in the mixture and temperatures both mixing, laying and compaction are different and must contain special specifications, as we observed a different behavior in conventional mixing and modified dust tire.

In document it contains technical data on the design of an asphalt mixture by the Marshall Method, a declarative photo gallery of the process, technical regulations specialized and applicable to Mexico for proper development, as well as the conclusions of handling a modified mixture and additional data handling.

Key words

Hot Mix Asphalt, Asphalt, Road, Rubber, Pavement.

INTRODUCCIÓN.

El desarrollo de una región está delimitado en gran medida por los factores dependientes de la población económicamente activa, de su orografía y posición geográfica, tanto regional como su posición global. Un país como México que hoy día se encuentra bien posicionado tanto geográficamente así como en el ranking de países en vías de desarrollo, las calificadoras internacionales lo colocan dentro de las 10 naciones en vías de desarrollo que podrían a un mediano plazo colocarse dentro de una potencia económica a nivel de países como India, Corea del Norte y Canadá. Desde inicios de la década de los 90's con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), México comenzó una carrera a contra tiempo para lograr tener la infraestructura del transporte adecuada a las necesidades de sus socios comerciales, es por ello que en los Programas de Infraestructura de cada presidente desde entonces y a la fecha, han centrado gran parte de sus acciones en el Plan Nacional de Infraestructura (PNI), se centran en la construcción, conservación y modernización de la red carretera presente en el territorio nacional. Dicho esto, y motivo del presente trabajo de Tesis, y siendo motivo base del mismo el diseño de una mezcla asfáltica, por el método más utilizado no solo en México, si no, en América Latina, que, aunque fue inventado en la época de la Segunda Guerra Mundial, sigue siendo válido por entidades reguladoras, que, para el caso que nos ocupa (México), es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) contempla dicho Método de diseño como válido para la capa de rodadura en los pavimentos flexibles, para el cual cuenta con Normativa vigente y adecuada para los materiales y especificaciones en nuestro país. Es por ello y por la gran necesidad que se tiene a nivel global de innovar en el uso de materiales convencionales y modificados, el presente trabajo enuncia el procedimiento de Diseño Marshall para elaboración de una mezcla asfáltica elaborada en caliente, en su forma convencional utilizando agregados minerales del interior del Estado de Michoacán de Ocampo con un cemento asfáltico convencional (AC-20) y un comparativo con adición de *polvo de neumático*, un material producto del reciclado de neumáticos, dicho sea de paso, convierte nuestro trabajo en un tema con impacto ecológico y sustentable.

Sin más preámbulos le agradezco y felicito por interesarse en un tema de gran impacto e importancia, no solo para el profesional de la construcción, si no, que a la población en general le puede ser útil para comprender el porqué del comportamiento funcional de nuestras carreteras y vialidades en donde encontramos mezcla asfáltica como superficie de rodamiento.

CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES.

1.- Antecedentes

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, creo un impuesto dedicado a la conservación de caminos, sustituyendo al de “peaje”.

La revolución Mexicana, iniciaba en 1910, provoco 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 rodamiento 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.

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.

1.1.- Procedencia del material pétreo

Para este trabajo el material pétreo que se utilizó procede 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 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.

1.2.- Cemento asfáltico

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

Este 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. 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 a utilizar lleva por nombre Método Marshall y está limitado al proyecto así como al 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.

El uso de material asfáltico dentro 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.

Actualmente existe 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.

1.3.- Polvo de Neumático

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 polvo de neumático procedente de los neumáticos usados presenta características, las cuales en adición al asfalto como parte del material ligante o capa selladora del asfalto o como árido (mezcla asfáltica modificada con polvo de neumático) incrementan las ventajas tanto estructurales como funcionales del uso de mezclas asfálticas.

El empleo del polvo de neumático 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 derrapamiento.

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 las cuales 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.

CAPÍTULO II.- ANÁLISIS DE MATERIAL PÉTREO.

2.- 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 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.

El material pétreo al ser triturado, 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.

2.1.- Tipo de material que se tritura en planta

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 ferromagnésicos 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.

2.1.1.- 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.

2.2.- Identificación, muestreo, transporte y preparación

Peso volumétrico seco suelto.
Granulometría de materiales para mezclas asfálticas.
Prueba de densidad relativa de materiales pétreos para mezclas asfálticas y absorción.
Equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas.
Desgaste mediante la prueba del desgaste de los ángeles de materiales pétreos para mezclas Asfálticas.

Tabla 2.1: Requisitos de calidad para la muestra asfáltica.

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 Cuto 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. 2.1: Ubicación del banco de material.

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:** Micro localización del banco de material.

2.2.1.- Manejo del material pétreo

El material se transporta en sacos que evitan la pérdida de finos y en un vehículo adecuado para su traslado al laboratorio. Posteriormente se seca extendiéndolo en una superficie plana para eliminar la humedad.

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.

El material pasa por un proceso de cuarteo de tal manera que quede dividido en cuatro partes iguales, de esas cuatro se toman dos, las recomendadas son las opuestas entre sí para realizar sus respectivos análisis, como son la granulometría, el peso volumétrico seco suelto, y todas las pruebas ya mencionadas.



Fig. 2.3.- Trituradora de material.



Fig. 2.4 Acarreo de material.



Fig.2.5.- Secado de Material.

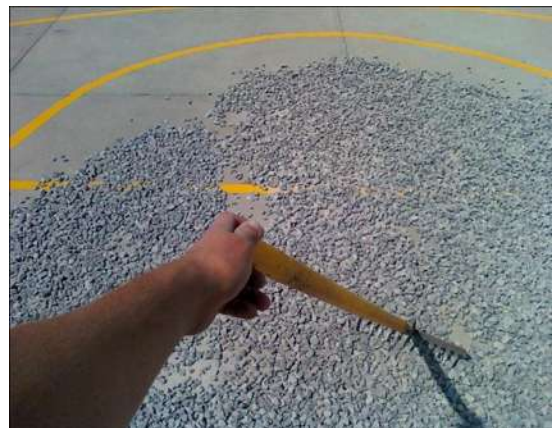


Fig. 2.6.- Extendido de Material.

2.3.- Pruebas de laboratorio del material pétreo

2.3.1.- 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 (W1).

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

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

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

Dónde:

PVSS= Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m³)

W1 = Peso del material seco (Kg.)

W2 = Peso del recipiente (Kg.)

V= Volumen del recipiente (Lts.)

Resultados:

P.V.S.S (Primer peso)	1,675.79 Kg/m ³
P.V.S.S (Segundo peso)	1,703.51 Kg/m ³
P.V.S.S (Tercer peso)	1,711.58 Kg/m ³

Tabla 2.2: Resultado de la prueba P.V.S.S.

Promedio de los tres cálculos realizados de la prueba del Peso Volumétrico Seco Suelto (P.V.S.S), es: 1,696.96 Kg/m³



Fig. 2.7.- Llenado de recipiente para prueba.



Fig. 2.8.- Enrasado de recipiente.



Fig. 2.9.- Llenado de Material.



Fig. 2.10.- Peso de Material y Bote.

2.3.2.- 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 de mayor tamaño, hasta llegar a las empleadas para tamaños más finos, 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 o mal graduado.



Fig. 2.11.- Cribado de material.



Fig. 2.12.- Diferente malla.

En la Tabla de la granulometría existen parámetros que nos restringen 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.

Tabla 2.3: Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (Para cualquier valor de la vida útil del pavimento ΣL).

Malla		Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
Abertura mm	Designación	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	19 (3/4)	25 (1)	37.5 (1 1/2)
Porcentaje que pasa						
50	2"	----	----	----	----	100
37.5	1 1/2"	----	----	----	100	90 - 100
25	1"	----	----	100	90 - 100	74 - 90
19	3/4"	----	100	90 - 100	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

Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para $\Sigma L > 10^6$).

Tabla 2.4: Requisitos de calidad.

CARÁCTERÍSTICAS	VALOR
Densidad relativa, m/m	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 2.5 y 2.6 terminando en el fondo con la charola receptora.

Tabla 2.5.- 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

Tabla 2.6.- 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 el agitador de mallas para empezar a cribar y que queden definidos los diferentes tamaños del material, o también se puede hacer manualmente aunque es un poco más tardado y cansado.

En nuestro caso para la composición granulométrica del material retenido en la malla No.4 se obtuvo 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.

Tabla 2.7.- 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	$\Sigma = 1,100$	$\Sigma = 100$	

Tabla 2.8.- 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	$\Sigma = 440$	$\Sigma = 40$	

Tabla 2.9.- 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

Como muestran los resultados anteriores de 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 Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Para fines prácticos se adopta esta granulometría ya que todos los valores que se obtuvieron en la granulometría son adecuados para la realización de nuestra mezcla asfáltica.

2.3.3.- 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 (Ph).

Se extrae el material del picnómetro y se coloca en una charola para secarlo en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 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:

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

Donde:

D_r = Densidad relativa aparente

P_s = Peso seco del material (gr.)

V = Volumen desalojado de agua (cm^3)

$$D_r = 2.673$$

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

$$\% \text{ De Absorción} = 1.24\%$$

Donde:

P_h = Peso húmedo del material (gr.)

P_s = Peso seco del material (gr.)

En la prueba realizada los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$\text{Absorción} = 1.393\%$$



Fig. 2.13.- Secado superficial.



Fig. 2.14.- Saturación de Material.



Fig. 2.15.- Secado del material.



Fig. 2.16.- Peso material Seco.

2.3.4.- 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 concreto 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 formaldehido, 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. 2.17.- Capsula de Muestra



Fig.2.18.- Muestra de prueba



Fig. 2.19.- Cilindro y Pisón para la prueba

Procedimiento de la prueba

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 este caso se agito manualmente 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 líquido alcance un nivel de (15"), se deja reposar el cilindro durante 20 minutos evitando cualquier tipo de movimiento o vibración durante este periodo transcurrido en el cual la arena se sedimenta 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 formula:

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

Donde:

LNS arena = Nivel superior de la arena (cm)

LNS finos = Nivel superior de finos (cm)

Tabla 2.10.- Resultados de la prueba de Equivalente de arena.

% De Equivalente de Arena	81.66%
% De Equivalente de Arena	74.30%
% De Equivalente de Arena	77.98%

2.3.5.- Desgaste mediante la prueba del desgaste de los ángeles

Objetivo de la prueba

Con la realización de esta prueba conocemos el grado de alteración que sufre el material pétreo mediante la abrasión inducida. A mayor grado de alteración corresponderá un desgaste más elevado.

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. 2.20.- Maquina Los Ángeles.



Fig. 2.21.- Material Obtenido.

Procedimiento de la prueba

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

Tabla 2.11.- Elección de tipo de desgaste según granulometría.

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



Fig. 2.22.- 11 esferas en la prueba.



Fig. 2.23.- 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 utilizaran 11 esferas de acero según indica la tabla 2.11.

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 2.11, 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:

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

Donde:

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:

% De Desgaste de los Ángeles= 14.94%

2.4.- Resumen de resultados

Tabla 2.12.- Resumen de resultados a material pétreo.

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)

CAPÍTULO III.- ANÁLISIS DE MATERIAL ASFÁLTICO.

3.- Cemento asfáltico

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 (SCT) 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 más 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.

3.1.- Definición y propiedades del cemento asfáltico

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.

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.

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

Tabla 3.1.- Pruebas realizadas al cemento asfáltico.

Penetración en cementos asfálticos.
Punto de inflamación Cleveland en cementos asfálticos.
Punto de reblandecimiento en cementos asfálticos.
Ductilidad en cementos asfálticos.

3.1.2.- 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. 3.1.- Penetrometro.



Fig. 3.2.- Penetrometro y muestra en baño María.



Fig. 3.3.- Capsula en baño de agua.



Fig. 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 3.2.- Penetraciones realizadas capsula N° 1.

N° ENSAYE	GRADOS DE PENETRACION
1	71
2	53
3	75
4	67
5	70
PROMEDIO =	72

Penetraciones de la 2ª capsula:

Tabla 3.3.- Penetraciones realizadas capsula N° 2.

N° DE ENSAYE	GRADOS DE PENETRACION.
1	62
2	53
3	63
4	54
5	53
PROMEDIO =	59.67

3.1.3.- Punto de inflamación Cleveland en cementos asfálticos

Esta prueba nos indica la temperatura máxima a la que el cemento asfáltico se puede calentar sin perjudicar sus características físicas y químicas 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. 3.5.- Muestra y equipo montados para prueba.

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 chispa se generó: 236 ° C (Punto de inflamación).

El punto de ignición se presentó a: 241 ° C.

3.1.4.- 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. 3.6.- Anillos para la prueba.
Procedimiento de la prueba.

Fig. 3.7.- Enrasado de cemento en anillo.

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.



Fig. 3.8.- Calentamiento de espátula.



Fig. 3.9.- Prueba montada.

En la prueba realizada el resultado es el siguiente:

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

$$\text{Anillo} = 51^{\circ} \text{ C}$$

3.1.5.- 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.

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. 3.10.- Calentamiento del cemento.



Fig. 3.11.- 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. 3.12.- Prueba de las Briquetas.



Fig. 3.13.- 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. 3.14.- Vaciado del cemento.



Fig. 3.15.- Juego de briquetas de prueba.

En la prueba realizada el resultado obtenido es el siguiente:

Ductilidad= 61 cm.

3.2.- Resultados de pruebas al cemento asfáltico

Los datos que concentraron 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 3.4.- Resumen de resultados del 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

CAPÍTULO IV.- ELABORACIÓN Y PRUEBA DE ESPECÍMENES

4.- Diseño de la mezcla asfáltica en caliente

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 de diseño Marshall para mezclas en caliente.

4.1.- Método Marshall

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

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

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

El método Marshall se aplica al control de todas o algunas de las características que el mismo involucra, según se establezca en el proyecto. Para el diseño de mezclas asfálticas se elaborarán especímenes con diferentes porcentajes de asfalto, a fin de conocer cuáles son los que proporcionan condiciones favorables y de ellos seleccionar el óptimo para el cálculo.

4.1.1.- Cálculo de contenido mínimo de asfalto

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, dichas constantes están expresadas en m² por cada kilogramo de material.

Tabla 4.1.- Constantes 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

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., 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., De acuerdo a las características que tiene nuestro material pétreo.

De la siguiente tabla se toma el índice asfáltico y dependiendo del tipo de material con el que se esté trabajando para el cálculo respectivo.

Tabla 4.2.- 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

Tabla 4.3.- Granulometría del material pétreo empleado en el diseño.

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

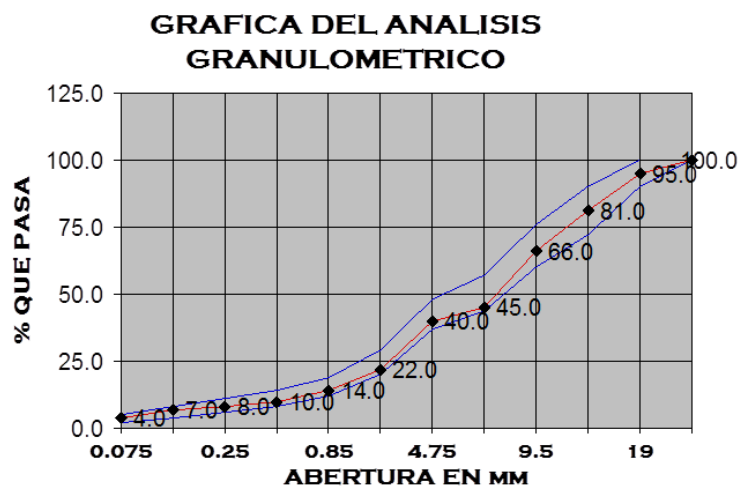


Fig. 4.1.- Gráfico de la granulometría del agregado mineral.

Como puede observarse en la tabla 4.3., 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 1.0 % el contenido mínimo ya multiplicado por el factor anterior.

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.

Tabla 4.4.- Porcentajes de C.A., para el diseño de la mezcla.

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

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

Tabla 4.5.- Calculo del contenido mínimo de asfalto.

TAMAÑO DE MATERIAL		% EN PESO	CONSTANTE DE ÁREA (M2/KG).	SUPERFICIE PARCIAL.	ÍNDICE ASFALTICO.	CONTENIDO DE ASFALTO
PASA MALLA	RETIENE MALLA					
3/4"	N° 4	60	0.41	$60/100 \times 0.41 = 0.246$	0.006	$0.246 \times 0.0060 = 0.00148$
N° 4	N° 40	30	2.05	$30/100 \times 2.05 = 0.615$	0.006	$0.615 \times 0.0060 = 0.00369$
N° 40	N° 200	6	15.38	$6/100 \times 15.38 = 0.923$	0.006	$0.923 \times 0.0060 = 0.00554$
PASA N° 200		4	53.3	$4/100 \times 53.3 = 2.132$	0.006	$2.132 \times 0.0060 = 0.01279$
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 del método analítico resulta que:

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

$$a = 18$$

$$b = 18$$

$$c = 4$$

$$d = 0.20$$

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

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

A este resultado se le agrega el 1.0 % por especificaciones, por lo tanto el contenido mínimo de cemento asfáltico es de 3.56 %. Este porcentaje es muy bajo por lo tanto empezaremos con el de 4.0 % 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:

Tabla 4.6.- Contenidos de asfalto para diseño de la mezcla asfáltica para cálculo del contenido óptimo de asfalto.

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%

Para cada punto de análisis con su respectivo porcentaje de asfalto se elaboran 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 4.7.

Tabla 4.7.- Cálculo de material pétreo para elaboración de pastillas Marshall.

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		$\Sigma = 40$		$\Sigma = 440$

4.2.- Procedimiento de elaboración y prueba de pastillas Marshall

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 4.8. Y se mezclan hasta lograr cubrir todas las partículas de material pétreo.

Tabla 4.8.- Contenido en gramos de asalto para cada porcentaje de diseño.

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

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.- Equipo adquiriendo temperatura en horno.



Fig. 4.3.- Mezclado del material.

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. 4.4.- Material en horno.

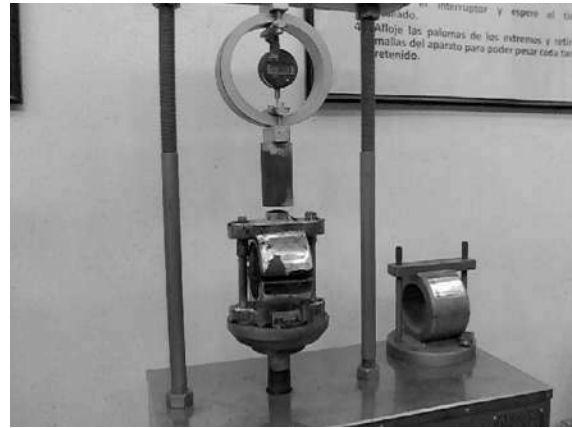


Fig. 4.5.- Máquina de prueba Marshall.

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. 4.6.- Pastillas Marshall en el agua.



Fig. 4.7.- Pastillas Marshall.

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. 4.8.- Parafina líquida.



Fig. 4.9.- Derritiendo la parafina.



Fig. 4.10.- Impermeabilización de pastilla.



Fig. 4.11.- 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.

$W_{\text{parafina}} = \text{Capsula llena de parafina} - \text{Peso de la capsula de petri.}$

$W_{\text{parafina}} = 37 \text{ grs.} - 27 \text{ grs.} = 10 \text{ grs.}$

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

Especímenes Marshall

Espesores de los especímenes:

Para el % de cemento asfáltico de 4 %:

1.- 6.55

2.- 6.43

3.- 6.48

Para el % de 4.5 de cemento asfáltico:

1.- 6.48

2.- 6.53

3.- 6.38

Para el % de 5 de cemento asfáltico:

1.- 6.48

2.- 6.4

3.- 6.3

Para el % de 5.5 de cemento asfáltico:

1.- 6.48

2.- 6.40

3.- 6.53

Para el % de 6 de cemento asfáltico:

1.- 6.43

2.- 6.45

3.- 6.40

DISEÑO MARSHALL

DATOS DEL MATERIAL PÉTREO									
ABSORCION (%) :	1.29	%							
DENSIDAD mat.grueso:	2.67								
DENSIDAD mat.fino:	2.67								
P.V.S.S. (kg / m ³) :	1,703.51	kg/m ³							
DESGASTE :	15.00	%							
EQUIVALENTE DE ARENA :	77.98	%							
CONTRACCION LINEAL :	0.30	cm							
DENSIDAD MAT.PETREO:	2.67								
DATOS DEL CEMENTO ASFALTICO									
DENSIDAD :	1.083								
CONT.MINIMO (%C.A.)	4.00								
DATOS DE LA PARAFINA									
DENSIDAD :	0.90								
DATOS DEL EQUIPO									
CTE. DEL ANILLO :	46.00								

Tabla 4.9.- Datos para diseño Marshall.

4.2.1.- Prueba de especímenes en prensa 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.

Tabla 4.10.- Datos para gráficos Marshall.

DATOS DE LA MEZCLA PARA CONTENIDO ÓPTIMO									
ENSAYE	PROBETA	% C.A. CALCULADO	Especimen + parafina en aire	Especimen sin parafina en aire	Especimen + parafina en agua	Lectura Micrómetro (q)	Altura del Especimen (cms)	Factor de Corrección	Flujo en MM
1	1	4.00	1,171.10	1,136.00	657.00	15.00	6.55	0.96	3.30
	2	4.00	1,158.80	1,128.90	657.00	21.00	6.43	1.14	3.18
	3	4.00	1,160.50	1,129.90	646.00	16.00	6.48	1.16	3.12
2	1	4.50	1,163.20	1,146.00	670.30	15.00	6.48	0.97	3.43
	2	4.50	1,188.30	1,137.80	666.70	13.00	6.53	0.96	3.38
	3	4.50	1,165.60	1,134.80	663.60	15.00	6.38	0.98	3.07
3	1	5.00	1,179.30	1,145.50	671.10	16.00	6.48	0.97	4.22
	2	5.00	1,160.90	1,142.30	669.50	13.00	6.40	0.98	3.20
	3	5.00	1,175.60	1,143.00	671.20	18.00	6.30	1.00	3.18
4	1	5.50	1,189.70	1,167.20	667.00	15.00	6.48	0.97	3.95
	2	5.50	1,177.80	1,165.20	664.40	16.00	6.40	0.98	4.47
	3	5.50	1,169.50	1,159.30	678.90	17.00	6.53	0.96	3.08
5	1	6.00	1,170.40	1,168.90	676.20	19.00	6.43	0.97	3.45
	2	6.00	1,175.50	1,171.20	674.90	18.00	6.45	0.96	3.35
	3	6.00	1,176.50	1,174.30	668.90	19.00	6.40	0.98	3.50
6	1	6.50	1,176.80	1,171.50	678.10	17.00	6.48	0.97	3.15
	2	6.50	1,174.90	1,168.90	677.50	16.50	6.53	0.96	3.67
	3	6.50	1,174.50	1,169.50	681.00	17.50	6.40	0.98	3.55

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 gráficas que a continuación se indican.

Peso Volumétrico vs. Contenido de asfalto.

Por ciento de vacíos del material pétreo vs. Contenido de Asfalto.

Por ciento de vacíos de la muestra compactada vs. Contenido de asfalto.

Estabilidad vs. Contenido de asfalto.

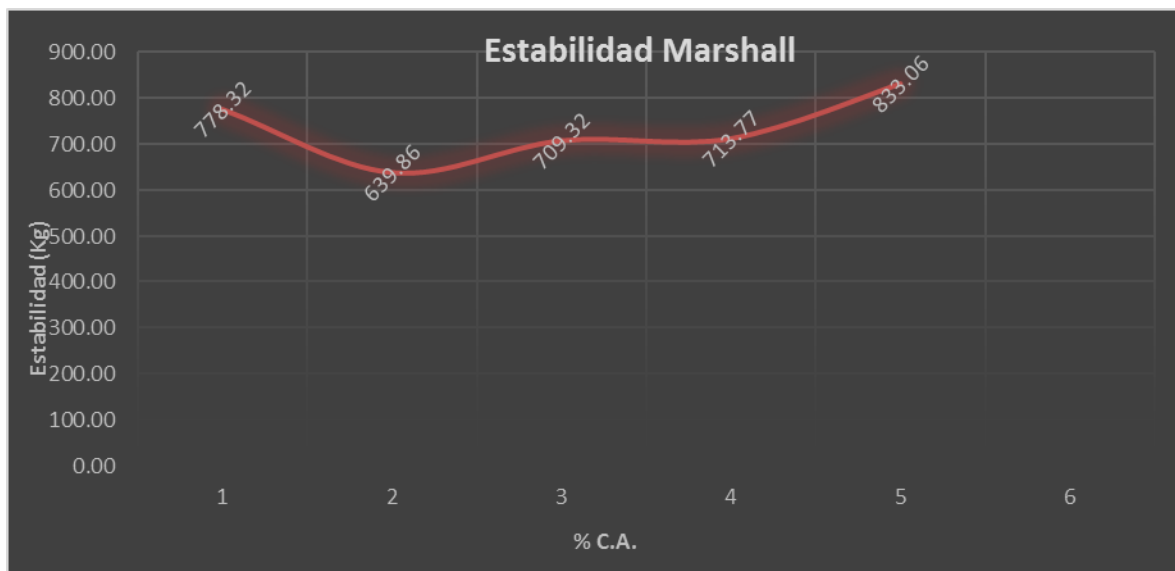
Flujo vs. Contenido de asfalto.

DATOS PARA GRÁFICAS DE LA PRUEBA MARSHALL

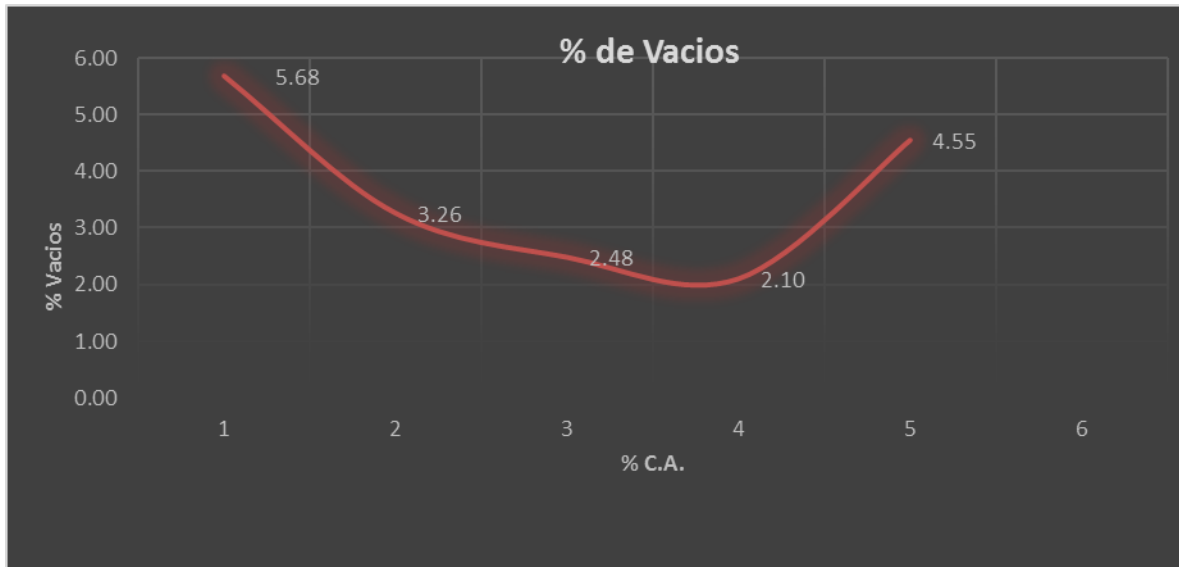
ESTABILIDAD kg/cm ²		%VACIOS		FLUJO mm	
%C.A.	Estabilidad	%C.A.	% de Vacios	%C.A.	Flujo mm
4.00	778.32	4.00	5.68	4.00	3.20
4.50	639.86	4.50	3.26	4.50	3.29
5.00	709.32	5.00	2.48	5.00	3.53
5.50	713.77	5.50	2.10	5.50	3.84
6.00	833.06	6.00	4.55	6.00	3.43

% V.A.M.		P.V. Kg/m ³		% V.A.F.	
%C.A.	% V.A.M.	%C.A.	P.V.	%C.A.	% V.A.F.
4.00	14.15	4.00	2.38	4.00	60.10
4.50	12.92	4.50	2.43	4.50	74.86
5.00	13.18	5.00	2.43	5.00	81.22
5.50	16.01	5.50	2.37	5.50	71.75
6.00	16.10	6.00	2.37	6.00	83.45

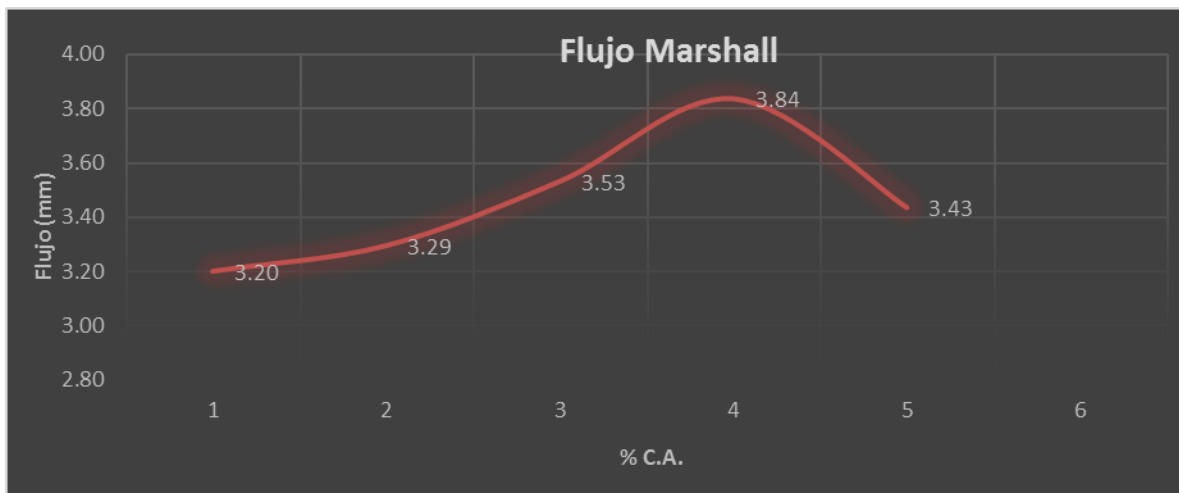
Grafica 4.2.- Estabilidad Marshall.



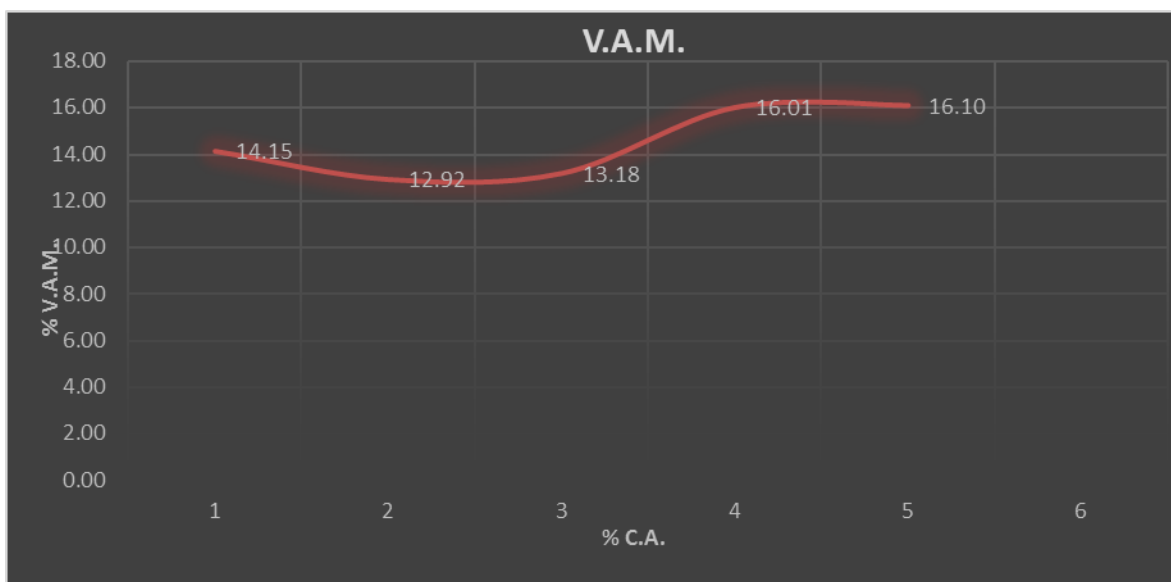
Grafica 4.3.- % de vacíos.



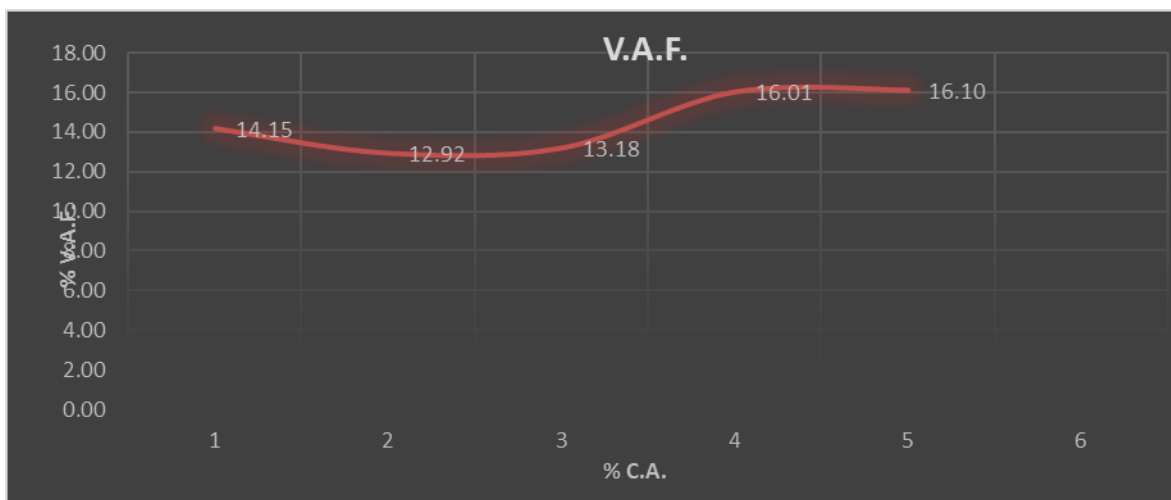
Grafica 4.4.- Flujo Marshall.



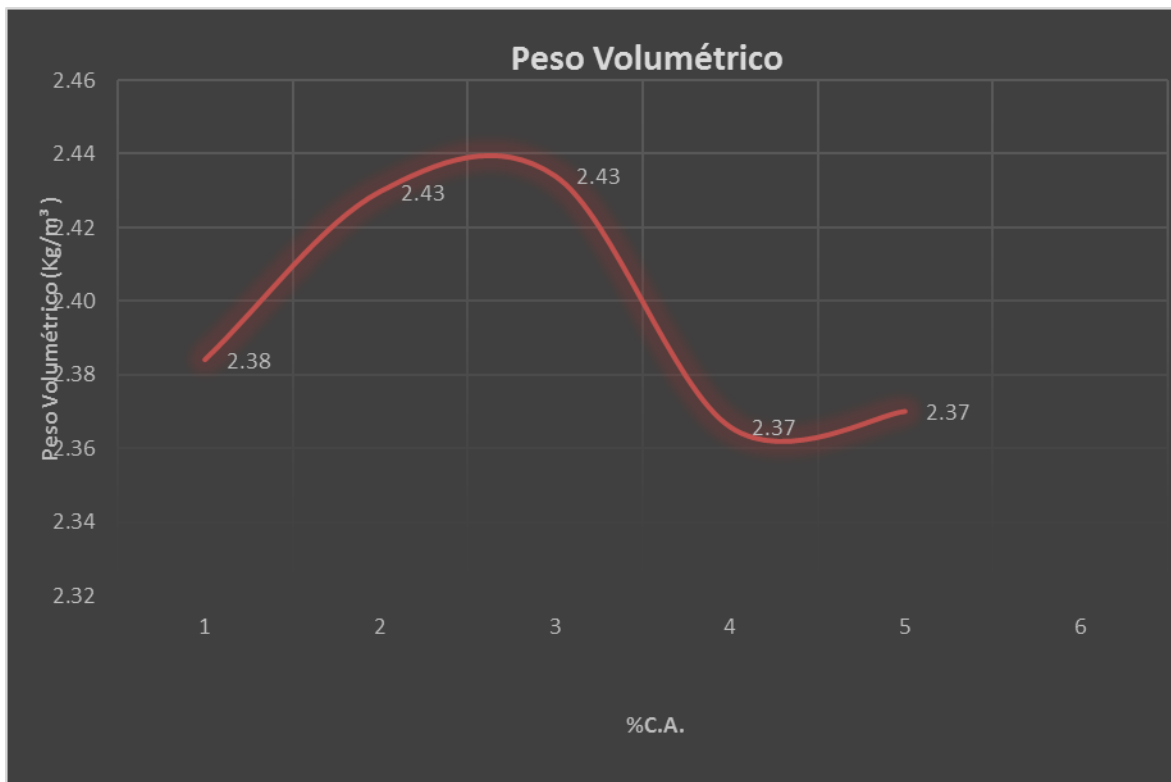
Grafica 4.5.- % de vacíos en agregado mineral.



Grafica 4.6.- % de vacíos llenos de asfalto.



Grafica 4.7.- Peso volumétrico.



4.3.-Tabla de cálculo del método Marshall

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, 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 óptimo de asfalto

Tabla 4.12.- Comparativo Normativa SCT vs resultados de ensayes.

La mezcla asfáltica presenta los requisitos de calidad siguientes, para el punto **6.0%de A.C. 20**

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	833.06	Kg
FLUJO	2.0 a 3.5 mm	3.43	mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %	4.55	%
%V.A.M.	15.0 % Mínimo	16.85	%
P.V.M.	SIN NORMA	2,353.34	Kg/m ³
%V.A.F.	65 - 75%	73.16	%

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

- La estabilidad está 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 vacíos, 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.

4.4.- Incorporación del polvo de neumático.

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 polvo de neumático 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 polvo de neumático, 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 polvo de neumático 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.

4.4.1.- Polvo 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.

4.4.2.- 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.

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.

4.4.3.- Elaboración de especímenes con adición de polvo de neumático por el método Marshall

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.



Fig. 4.12.- Polvo de neumático.



Fig. 4.13.- Incorporación de hule.

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

Tabla 4.13.- Material pétreo utilizado en elaboración de pastillas Marshall.

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		$\Sigma = 100$		$\Sigma = 1,100$

Tabla 4.14.- Material pétreo fino utilizado en elaboración de pastillas Marshall.

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		$\Sigma = 40$		$\Sigma = 440$



Fig. 4.14.- Molde de pastillas.



Fig. 4.15.- 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 de neumático, obteniendo lo siguiente:

Tabla 4.15.- Peso de pastillas en el aire al 1% de polvo de neumático.

MARSHALL PARA PASTILLAS CON ADICION DE POLVO E NEUMATICO

DATOS DE LA MEZCLA									
ENSAYE	PROBETA	% C.A. CALCULADO	Especimen + parafina en aire	Especimen sin parafina en aire	Especimen + parafina en agua	Lectura Micrómetro (q)	Altura del Especimen (ms)	Factor de Corrección	Flujo en MM
1 % P.N.C.P.	1	6.00	1,309.00	1,275.50	753.20	15.00	7.50	0.76	11.00
	2	6.00	1,313.00	1,293.00	756.00	18.00	7.50	0.76	12.00
	3	6.00	1,289.00	1,254.00	731.50	14.00	7.30	0.80	9.00
1 % P.N. S.P	1	6.00	1,293.40	1,277.50	754.50	37.00	7.40	0.78	5.00
	2	6.00	1,294.50	1,290.50	757.50	35.00	7.50	0.76	5.20
	3	6.00	1,297.30	1,291.00	759.00	31.00	7.50	0.76	4.70
2 % P.N.C.P.	1	6.00	1,381.50	1,375.50	798.50	13.50	7.50	0.76	12.00
	2	6.00	1,385.00	1,375.00	797.80	11.00	7.50	0.76	7.00
	3	6.00	1,385.50	1,371.50	797.80	10.50	7.45	0.77	6.00
2 % P.N.S.P	1	6.00	1,338.30	1,334.00	749.50	31.50	7.50	0.76	6.10
	2	6.00	1,386.80	1,382.00	780.00	27.50	7.50	0.76	5.80
	3	6.00	1,378.70	1,375.50	798.00	35.00	7.50	0.76	6.50



Fig. 4.16.- Peso de pastilla.



Fig. 4.17.- Pastillas impermeabilizadas.

4.4.3.1.- Peso de las pastillas + parafina en el (aire).



Fig. 4.18.- Peso con impermeabilización.



Fig. 4.19.- Pastilla con parafina.

4.4.3.2.- Peso de las muestras + 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).



Fig. 4.20.- Peso de pastilla con parafina.



Fig. 4.21.- Muestra sin parafina.

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



Fig. 4.22.- Muestras antes de probar.



Fig. 4.23.- 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.



Fig. 4.24.- Pastillas a saturar en agua.



Fig. 4.25.- Muestras de 1 y 2 % neumático.

4.4.4.- Prueba Marshall con adición de polvo de 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.



Fig. 4.26.-Pastillas con parafina.



Fig. 4.27.- Solo las pastillas con parafina.



Fig. 4.28.- Maquina de compresión.



Fig. 4.29.- Pastillas después de compresión.

4.5.- Resumen de cálculo del método Marshall con adición de polvo de neumático

Según la Norma de la SCT N-CTM-4-05-003/08, para un numero 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.

DATOS DE LA MEZCLA									
ENSAYE	PROBETA	% 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
I	1	6.00	1,229.30	1,225.50	723.15	29.50	7.50	0.76	6.00
	2	6.00	1,240.00	1,233.00	726.10	29.60	7.50	0.76	5.40
	3	6.00	1,218.30	1,213.00	711.32	31.20	7.30	0.80	4.50
II	1	6.00	1,236.50	1,231.50	731.23	37.00	7.40	0.78	3.50
	2	6.00	1,238.60	1,232.50	731.43	35.00	7.50	0.76	4.10
	3	6.00	1,236.70	1,231.00	729.13	31.00	7.50	0.76	4.56
III	1	6.00	1,321.00	1,315.50	778.54	34.30	7.50	0.76	4.05
	2	6.00	1,319.40	1,315.00	777.32	33.00	7.50	0.76	4.60
	3	6.00	1,317.00	1,311.50	777.86	34.00	7.45	0.77	4.10
IV	1	6.00	1,280.40	1,274.00	729.65	35.00	7.50	0.76	4.30
	2	6.00	1,329.50	1,322.00	760.49	33.55	7.50	0.76	4.00
	3	6.00	1,321.10	1,315.50	778.26	37.50	7.50	0.76	3.30

DISEÑO MARSHALL PASTILLAS CON ADICION DE POLVO DE NEUMATICO AL 1% Y 2%																											
ENSAJE	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			% VACIOS		ESTABILIDAD (KG)					FLUJO EN (0.0 l')	FLUJO EN (M. M.)	CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES		
				ESPECIMEN + PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN SIN PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN + PARAFINA EN AGUA	PARAFINA	ESPECIMEN + PARAFINA	PARAFINA	ESPECIMEN			CEMENTO ASFALTICO	MATERIAL PETREO	VACIOS	MATERIAL PETREO	LLENADOS POR EL CEMENTO ASFALTICO	LECTURA MICROMETRO	ALTURA ESPECIMEN (Cm)	ESTABILIDAD (KG)	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA (KG)					
																										f	g
		a	b	c	d	e	c - d	c - e	f / Dp	g - h	d / i		bj/DC A	100- b ¹⁰⁰ /dmp	100-l-m	100- m	l/o		q	z	q.r	t	s.t		v	w	
1 % P.N.C. P.	1	6.00	5.66	1,309.00	1,275.50	753.20	33.50	555.80	37.22	518.58	2.46	2.51	12.86	86.91	0.24	13.09	98.18	15.00	7.50	690.00	0.76	524.40	0.28	11.00	DENSIDAD DEL MATERIAL GRUESO :		
	2	6.00	5.66	1,313.00	1,293.00	756.00	20.00	557.00	22.22	534.78	2.42	2.51	12.64	85.43	1.93	14.57	86.73	18.00	7.50	828.00	1.00	828.00	0.30	12.00			
	3	6.00	5.66	1,289.00	1,254.00	731.50	35.00	557.50	38.89	518.61	2.42	2.51	12.64	85.44	1.93	14.56	86.77	14.00	7.30	644.00	0.96	618.24	0.23	9.00			
											2.43				1.37	14.08	90.56					656.88		10.67		2.67	
1 % P.N. S.P	1	6.00	5.66	1,293.40	1,277.50	754.50	15.90	538.90	17.67	521.23	2.45	2.49	12.81	86.60	0.59	13.40	95.59	37.00	7.40	1,702.00	0.78	1,327.56	0.13	5.00	DENSIDAD DEL MATERIAL FINO :		
	2	6.00	5.66	1,294.50	1,290.50	757.50	4.00	537.00	4.44	532.56	2.42	2.49	12.67	85.62	1.71	14.38	88.08	35.00	7.50	1,610.00	0.76	1,223.60	0.13	5.20			
	3	6.00	5.66	1,297.30	1,291.00	759.00	6.30	538.30	7.00	531.30	2.43	2.49	12.70	85.86	1.44	14.14	89.79	31.00	7.50	1,426.00	0.76	1,083.76	0.12	4.70			
											2.43				1.25	13.98	91.15					1,211.64		4.97		2.67	
2 % P.N.C. P.	1	6.00	5.66	1,381.50	1,375.50	798.50	6.00	583.00	6.67	576.33	2.39	2.47	12.47	84.33	3.20	15.67	79.59	13.50	7.50	621.00	0.76	471.96	0.30	12.00	ABSORCIÓN N %=		
	2	6.00	5.66	1,385.00	1,375.00	797.80	10.00	587.20	11.11	576.09	2.39	2.47	12.47	84.33	3.19	15.67	79.62	11.00	7.50	506.00	0.76	384.56	0.18	7.00		1.29	
	3	6.00	5.66	1,385.50	1,371.50	797.80	14.00	587.70	15.56	572.14	2.40	2.47	12.53	84.70	2.77	15.30	81.88	10.50	7.45	483.00	0.77	371.91	0.15	6.00			
											2.39				3.05	15.55	80.36					409.48		8.33			
2 % P.N.S. P	1	6.00	5.66	1,338.30	1,334.00	749.50	4.30	588.80	4.78	584.02	2.28	2.46	11.94	80.71	7.36	19.29	61.88	31.50	7.50	1,449.00	0.76	1,101.24	0.15	6.10	DESGASTE %		
	2	6.00	5.66	1,386.80	1,382.00	780.00	4.80	606.80	5.33	601.47	2.30	2.46	12.01	81.19	6.81	18.81	63.83	27.50	7.50	1,265.00	0.76	961.40	0.15	5.80		15.00	
	3	6.00	5.66	1,378.70	1,375.50	798.00	3.20	580.70	3.56	577.14	2.38	2.46	12.46	84.21	3.33	15.79	78.88	35.00	7.50	1,610.00	0.96	1,545.60	0.17	6.50			
											2.32				2.10	17.97	68.20					1,202.75		6.13	EQ. DE ARENA 77.98 %		
		r = CONSTANTE DE ANILLO = 46.00																									

Tabla 4.16.- Resultados Marshall.

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.

4.5.1.- Graficas de la prueba Marshall para especímenes con adición de polvo de neumático.

DATOS PARA GRÁFICAS DE LA PRUEBA MARSHALL PASTILLAS
CON ADICION DE POLVO DE NEUMATICO AL 1% Y 2%

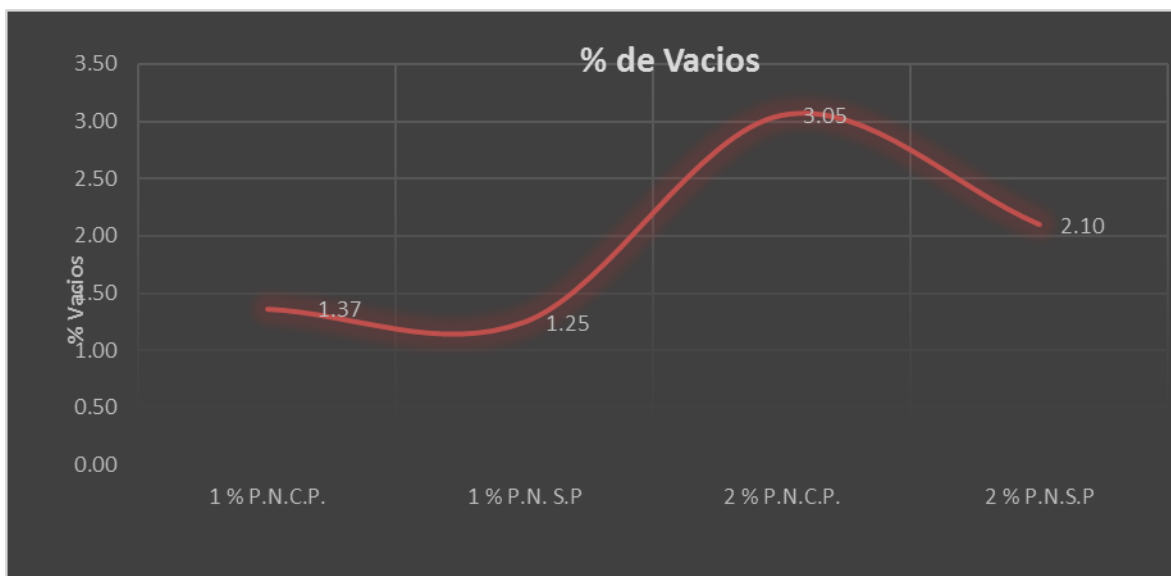
ESTABILIDAD kg/cm ²		%VACIOS		FLUJO mm	
%C.A.	Estabilidad	%C.A.	% de Vacíos	%C.A.	Flujo mm
1 % P.N.C.P.	656.88	1 % P.N.C.P.	1.37	1 % P.N.C.P.	10.67
1 % P.N. S.P	1,211.64	1 % P.N. S.P	1.25	1 % P.N. S.P	4.97
2 % P.N.C.P.	409.48	2 % P.N.C.P.	3.05	2 % P.N.C.P.	8.33
2 % P.N.S.P	1,202.75	2 % P.N.S.P	2.10	2 % P.N.S.P	6.13

% V.A.M.		P.V. Kg/m ³		V.A.F.	
%C.A.	% V.A.M.	%C.A.	P.V.	%C.A.	V.F.A.
1 % P.N.C.P.	14.08	1 % P.N.C.P.	2.43	1 % P.N.C.P.	90.56
1 % P.N. S.P	13.98	1 % P.N. S.P	2.43	1 % P.N. S.P	91.15
2 % P.N.C.P.	15.55	2 % P.N.C.P.	2.39	2 % P.N.C.P.	80.36
2 % P.N.S.P	17.97	2 % P.N.S.P	2.32	2 % P.N.S.P	68.20

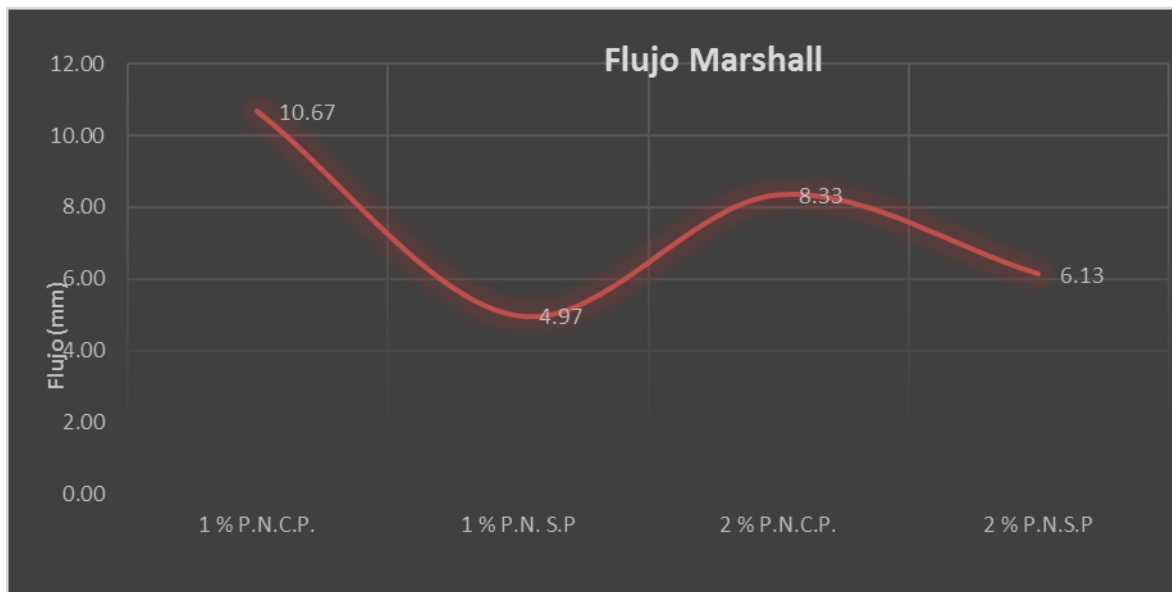
Grafica 4.8.- Estabilidad vs % C.A.



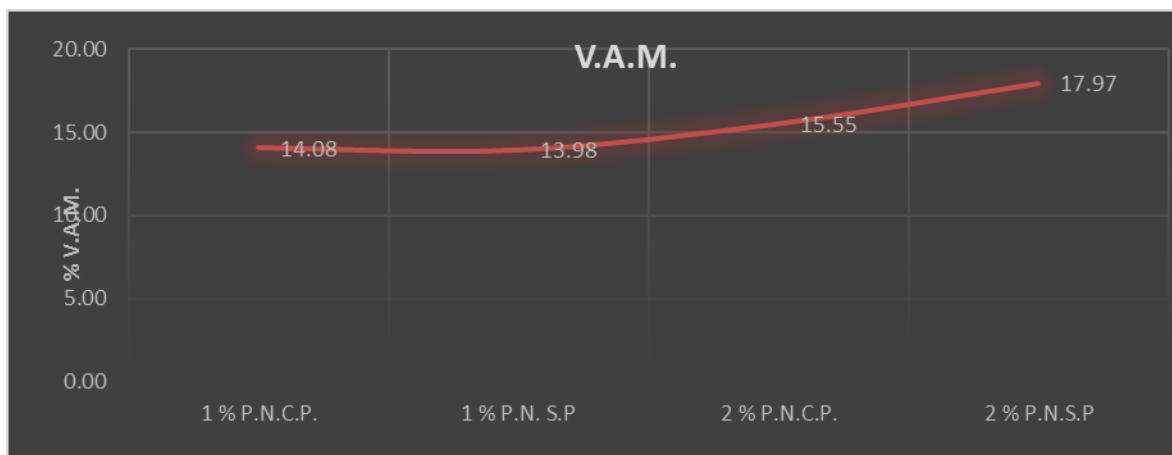
Grafica 4.9.- Vacíos vs % C.A.



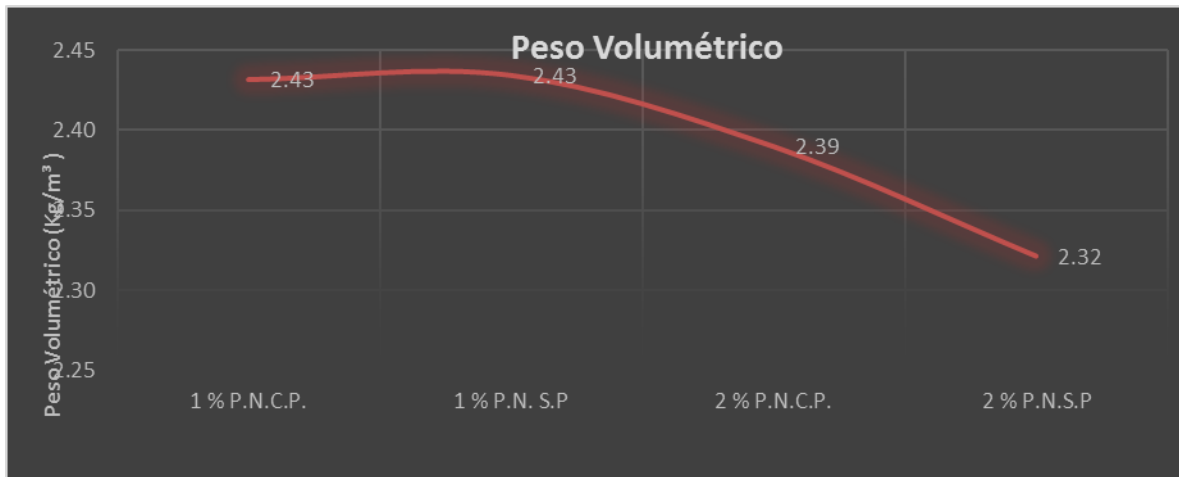
Grafica 4.10.- Flujo vs % C.A.



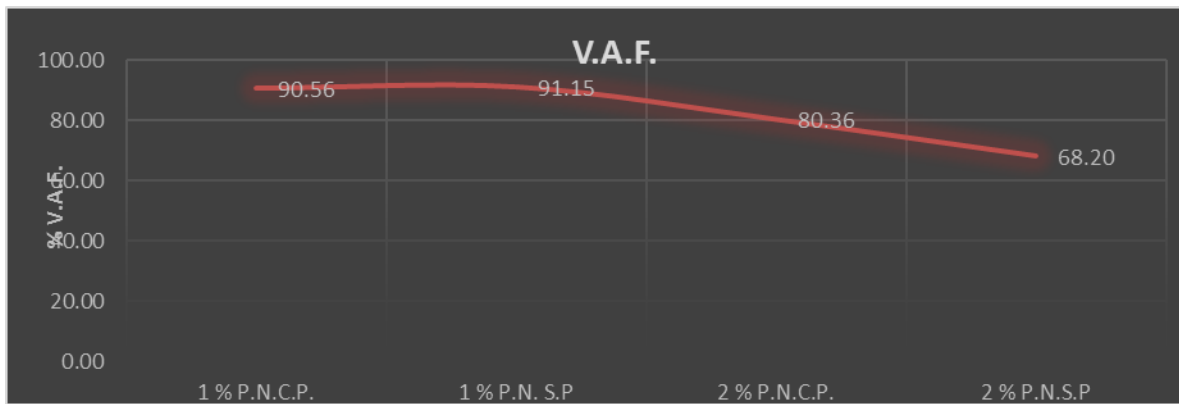
Grafica 4.11.- Vacíos en agregado mineral vs % C.A.



Grafica 4.12.- Peso volumétrico vs % C.A.



Grafica 4.13.- V.A.F.



CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones y recomendaciones.

Del agregado pétreo.- Para la elaboración de trabajos en lo que a mezcla asfáltica se refiere elaborada en caliente mediante el método marshal se recomienda seguir la normativa de la secretaria de comunicaciones y transportes (SCT), para el caso particular de este estudio de tesis adicionalmente se tomaron algunas consideraciones como: Lavado de material, secado al horno, edificación de potencial de hidrogeno (ph) así como de una caracterización visual propuesta por el asesor de tesis; la cual consiste en observar las caras del material, poros y coloración. Que con base en experiencia de laboratorio se sabe que estos parámetros influyen directamente en una mejor afinidad agregado- agregado, agregado-ligante asfáltico y agregado-ligante asfáltico-polvo de neumático.

Es parámetro importante y resultado de este trabajo que la selección del tipo de agregado depende de factores como: zona de proyecto, especificaciones de la SCT, especificaciones particulares, montos asignados a la obra y recursos disponibles; haciendo referencia a que muchas de las veces en diseños se recomienda el uso de un agregado en específico, sin embargo se debe tomar en cuenta como factor preponderante que el agregado pétreo incluso en una cantera o banco de material tiene variaciones de un frente a otro.

Un resultado a resaltar de este trabajo y motivo de recomendación para el contratista y constructor es no tomar como receta que el agregado producto de trituración al ser un agregado con altas densidades tendrá un mejor desempeño dentro de una mezcla asfáltica, resaltar que para cada proyecto, ligante asfáltico (cementos asfálticos convencionales, modificados, emulsiones asfálticas) se requiere además de todas las pruebas del método adicionalmente de lo que denominamos para esta ocasiones “*parte fina*”, es la pericia y la experiencia de los laboratoristas.

Del cemento asfáltico-polvo de neumático.- El cemento asfáltico al ser un material termoplástico esto es; que al aumentar o bajar su temperatura se comporta como un plastómero o un elastómero. El polvo de neumático al ser de una naturaleza similar al cemento asfáltico su comportamiento tiende a ser similar sin embargo, y aunque no fue motivo de esta investigación se recomienda analizar el tipo de modificadores, procesos especificaciones particulares del neumático.

Señalar que al momento de realizar estos trabajos no encontramos algún estudio en donde el autor hiciera referencia a la combinación de materiales y su afinidad asfalto-polvo de neumático para un diseño marshal y especificaciones técnicas y/o particulares como las de este trabajo. Brindamos en el contenido de este trabajo recomendaciones generales de un correcto manejo: mezclar por separado asfalto-agregado-polvo de neumático, adicionar el

polvo de neumático en la vía seca cuidando temperaturas especificadas para el método de diseño (se recomienda realizar una serie de pruebas anticipadas de las temperaturas a las cuales se calcina el polvo de neumático) con la finalidad de evitar deterioro de este material al momento de ser incluido en la mezcla.

De la mezcla.- Respetar las temperaturas y cuidados especificados por el diseño así como los ya mencionados en este trabajo para evitar deterioros químicos y físicos de los componentes de la mezcla asfáltica (calcinación, fragilización de materiales, oxidación, envejecimiento, entre otros).

Realizar el mezclado con equipo especializado.

En lo que refiere a la compactación se observó que al ser un material elástico por los elastómeros que contiene el polvo de neumático al momento de realizar la compactación se observó lo siguiente: un ligero efecto de rebote (amortiguamiento) de la mezcla producido por el polvo de neumático, para los últimos tres puntos de asfalto en el diseño se observó una menor densificación así como una menor absorción del agregado (VAF), menor compactación.

De las gráficas Marshal.- Para la mezcla convencional se observó un comportamiento estándar: con tendencias al incremento en resistencia al punto óptimo de asfalto seguido de un decremento en los últimos puntos (exceso de asfalto). En cuanto a la densificación de la mezcla convencional sucedió un comportamiento similar a bajos contenidos de asfalto bajas densidades seguidas en un incremento en la densidad para altos contenidos de asfalto. Por otro lado como era de esperarse al ser un agregado producto de la trituración se tuvo una mayor densidad respecto a mezclas previamente elaboradas con agregados volcánicos. De la mezcla con polvo de neumático se tiene que: para bajos contenidos de asfalto presento un comportamiento estándar, cabe resaltar que conforme aumento el contenido de asfalto se tuvieron que hacer modificaciones y consideraciones especiales a efecto de lograr compactar y probar los especímenes por lo descrito en párrafos anteriores. Se hace la recomendación de que en planta se cuide el proceso de adición del polvo, se cuide la temperatura de elaboración de mezcla, la forma y equipo para revolver la mezcla. En obra tener el cuidado de que el equipo se encuentre calibrado, limpio y contar con instrumentos especiales (elaborados conforme a criterio) para la limpieza y remoción de excedentes del mortero formado por polvo de neumático y asfalto. Esto a efecto de evitar clasificación de materiales y zonas discontinuas.

Comentarios finales.- El autor de este trabajo emite los siguientes comentarios a fin de que en futuras investigaciones se logre consolidar la información que resulta de este trabajo y que pueda contribuir no solo a efectos de investigación sino que ayuden a el profesional de la construcción que se encuentra directamente en obra, generando con ello un conocimiento de valor y 100% practico. Se considera que esta investigación dará pie a una línea que ya se venía trabajando pero es motivo de resaltar que consideramos para esta ocasión procedimientos y técnicas de laboratorio que pueden fácilmente replicarse en la gran mayoría de los laboratorios en México y centro América que cuenten con el equipo para el método de diseño de mezclas en caliente Marshal.

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).