



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA
ELABORADA EN CALIENTE POR EL MÉTODO
MARSHALL CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADOS
FINOS POR CEMENTO PORTLAND. “**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

JOSÉ CÉSAR DÍAZ BENJAMÍN

ASESOR:

DOCTOR EN INGENIERÍA MARIO SALAZAR AMAYA

COASESOR:

INGENIERO CIVIL ISAID CAMPA DOMÍNGUEZ

Morelia, Michoacán mayo del 2015



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 27 de Marzo de 2015

C. JOSE CESAR DIAZ BENJAMIN
P R E S E N T E

Asunto: Carta de Aceptación
de Impresión de trabajo.

Por medio de la presente, una vez revisado su trabajo denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA EN CALIENTE POR EL MÉTODO MARSHALL CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADOS FINOS POR CEMENTO PORTLAND.

" 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


JOAQUÍN CONTRERAS LOPEZ
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 09 de Marzo de 2015

C. JOSE CESAR DIAZ BENJAMIN
P R E S E N T E

Asunto: Carta de Aceptación
de Inicio de Trabajo.

Por medio de la presente y en atención a su solicitud para iniciar el desarrollo de su trabajo relativo a la Licenciatura en Ingeniería Civil, una vez analizado el tema propuesto, se le comunica la aceptación a fin de que lleve a cabo el desarrollo del trabajo denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA EN CALIENTE POR EL MÉTODO MARSHALL CON SUSTITUCIÓN DE AGREGADOS FINOS POR CEMENTO PORTLAND.", mismo que será asesorado por el profesor Mario Salazar Amaya.

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

ATENTAMENTE

JOAQUIN CONTRERAS LOPEZ
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil

Agradecimientos

El presente trabajo no hubiese sido posible sin la cooperación de todas y cada una de las personas que apoyaron y muchas de las cuales han sido un soporte y compañía indispensable.

Agradecer a mis Padres, porque gracias a su apoyo he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de mi vida, fruto del inmenso apoyo y confianza que en mi se depositó y con los cuales he logrado terminar mis estudios profesionales que constituyen el legado más grande que pudiera recibir y por lo cual les viviré agradecido.

Al Instituto de Ingeniería de la UMSNH, el cual brindo sus instalaciones durante el proceso de investigación.

A la Facultad de Ingeniería, por ser parte fundamental de mi formación como Ingeniero y todo el apoyo que recibí durante el transcurso de la carrera.

Así también al Asesor de tesis por su ayuda en el transcurso de la tesis.

Al personal del Laboratorio de Asfaltos por su ayuda en el transcurso de la investigación, ya que cada uno se encontró en disposición de ayudar y facilitar el aprendizaje para el término de este trabajo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	V
INDICE	V
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	2

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

1.1. HISTORIA DEL ASFALTO	3
1.2. ¿QUÉ ES UN ASFALTO?	4
1.3. COMPOSICIÓN DEL ASFALTO	5
1.4. OBTENCIÓN DEL ASFALTO EN REFINERÍAS	5
1.4.1. DESTILACIÓN PRIMARIA	5
1.4.2. DESTILACIÓN AL VACÍO	5
1.4.3. DESASFALTIZACIÓN CON PROPANO O BUTANO	6
1.5. CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	6
1.6. PROCESOS DEL ASFALTO	7
1.7. ASFALTO EN MÉXICO	7
1.7.1. EL SISTEMA CARRETERO EN MÉXICO 2012	8

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DEL MATERIAL PÉTREO

2.1. INTRODUCCIÓN	12
2.2. DEFINICIÓN DE AGREGADO	12
2.2.1. TIPOS DE AGREGADOS	12
2.3. ACOPIO Y MANEJO DE AGREGADOS	13

2.4. CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS	13
2.5. IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN	16
2.6. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (P.V.S.S)	17
2.7. GRANULOMETRÍA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	18
2.8. PRUEBA DE DENSIDAD RELATIVA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ABSORCIÓN	23
2.9. EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	25
2.10. DESGASTE MEDIANTE LA PRUEBA DEL DESGASTE DE LOS ÁNGELES	27
2.11. RESUMEN DE RESULTADOS	30

CAPITULO 3. ANÁLISIS DEL CEMENTO ASFÁLTICO

3.1. EL ASFALTO	31
3.2. CEMENTOS ASFÁLTICOS	33
3.3. PRUEBA DE PENETRACIÓN EN CEMENTOS ASFÁLTICOS	37
3.4. PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFÁLTICOS	39
3.5. PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFÁLTICOS	40
3.6. PRUEBA DE DUCTILIDAD DE CEMENTOS ASFÁLTICOS	41
3.7. RESUMEN DE RESULTADOS	42

CAPITULO 4 ELABORACIÓN Y PRUEBA DE ESPECÍMENES

4.1. GENERALIDADES	43
4.2. CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA	43
4.2.1. DENSIDAD	43
4.2.2. VACÍOS DE AIRE	43
4.2.3. VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL	44
4.2.4. CONTENIDO DE ASFALTO	45
4.3. PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS	45
4.3.1. ESTABILIDAD	45
4.3.2. DURABILIDAD	46

4.3.3. IMPERMEABILIDAD	47
4.3.4. TRABAJABILIDAD	47
4.3.5. FLEXIBILIDAD	48
4.3.6. RESISTENCIA A LA FATIGA	48
4.3.7. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	49
4.4. MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	50
4.4.1. MÉTODO MARSHALL	50
4.4.2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO	53
4.5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL ENSAYO MARSHALL	54
4.5.1. VALOR DE ESTABILIDAD MARSHALL	54
4.5.2. VALOR DE FLUENCIA MARSHALL	55
4.5.3. ANÁLISIS DE VACÍOS	55
4.5.4. ANÁLISIS DE PESO UNITARIOS	55
4.5.5. ANÁLISIS DE VMA	55
4.5.6. ANÁLISIS VFA	56
4.6. RELACIONES DE LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	56
4.7. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ASFALTO	56
4.8. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA.	63
4.9. INTERPRETACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	81
 CAPITULO 5. SUSTITUCIÓN DE AGREGADOS FINOS POR CEMENTO PORTLAND	
5.1. CEMENTO PORTLAND	83
5.2. ANTECEDENTES DEL CEMENTO	83
5.3. FABRICACIÓN	84
5.3.1. EXPLOTACIÓN DE MATERIAS PRIMAS	84
5.3.2. PREPARACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS	84
5.3.3. HOMOGENIZACIÓN	84

5.3.4. CLINKERIZACION	85
5.3.5. ENFRIAMIENTO	85
5.3.6. ADICIONES FINALES Y MOLIENDA	85
5.3.7. EMPAQUE Y DISTRIBUCIÓN	85
5.4. CLASIFICACION DE LOS CEMENTOS	85
5.5. ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y MECÁNICAS	86
5.6. MEZCLAS ASFÁLTICAS ADICIONADAS CON CEMENTO	87
5.6.1. LA CAL Y EL CEMENTO	88
5.6.2. CEMENTO PORTLAND EN SUSTITUCIÓN DE FINOS	88
5.7. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	89
5.7.1. REQUISITOS DE CALIDAD PARA MEZCLAS DE GRANULOMETRÍA DENSE, DISEÑADAS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL	93
5.8. INTERPRETACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS	97
5.9. CONCLUSIONES GENERALES	102
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	105
ANEXOS	106

PRESENTA:

JOSE CESAR DIAZ BENJAMIN

ASESOR:

DOCTOR EN INGENIERÍA MARIO SALAZAR AMAYA

COASESOR:

INGENIERO CIVIL ISAID CAMPA DOMÍNGUEZ

Resumen

La presente tesis es un estudio de diferentes tipos de mezclas asfálticas de granulometría densa, en caliente y elaboradas por el Método Marshall.

El principal objetivo consistió en caracterizar y comparar el comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall, las primeras mezclas se elaboraron con Material Pétreo y Cemento Asfáltico, en la segunda mezcla se utilizó material pétreo, Cemento Asfáltico y Cemento Portland.

En el capítulo 1 Es una introducción del estado actual de la red vial en el país y el origen del asfalto, así como también sus características principales.

En el capítulo 2 Comprende el material pétreo que se utilizó, las propiedades consideradas, así como también sus estudios para determinar la calidad del material pétreo.

En el capítulo 3 Se refiere al cemento asfáltico y sus pruebas que debe de cumplir para el diseño de la mezcla así como también sus características principales de este.

En el capítulo 4 Es la descripción del experimento, el cual comprende la caracterización de los materiales utilizados, la preparación y compactación de los especímenes, la determinación y la selección del Contenido óptimo de asfalto. En este mismo capítulo se presentan y analizan los resultados de las pruebas.

En el capítulo 5 Aquí partimos del contenido optimo obtenido y hacemos la mezcla, donde se sustituye en la porción de finos un cierto porcentaje de Cemento Portland. Así como también hacemos la comparación de ambas mezclas y finalmente se muestran los resultados, las gráficas y conclusiones generales.

PALABRAS CLAVE: CEMENTO, PORTLAND, ASFALTO, PETREO Y MARSCHALL.

Abstract

This thesis is a study of different types of asphalt mixes of granulometry dense, hot and developed by the Marshall Method.

The main objective was to characterize and compare the performance of asphalt mixtures in hot method by the Marshall, the first mixtures were developed with stony Material asphalt and cement, in the second mix is used stony material, Asphalt cement and Portland Cement.

In Chapter 1 is an overview of the current state of the road network in the country and the origin of the asphalt, as well as their main characteristics.

In Chapter 2 includes the stony material that was used, the properties considered, as well as their studies to determine the quality of the stony material.

In Chapter 3 concerns the Asphalt Cement and their tests that must fulfill for the design of the mix as well as their main features of this.

In Chapter 4 is the description of the experiment, which involves the characterization of the materials used, the preparation and compaction of the specimens, the identification and selection of optimum asphalt content. In this chapter are presented and analyzed the results of the tests

In Chapter 5 Here we depart from the optimal content obtained and we do the mixing, where it is replaced on the portion of fine a certain percentage of Portland cement. As well as we also do a comparison of the two mixtures and finally the results are displayed, the graphics and general conclusions.

KEYWORDS: CEMENT, PORTLAND, ASPHALT, STONY AND MARSHALL.

INTRODUCCIÓN

Con el presente trabajo se pretende determinar el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas sustituyendo un porcentaje de finos por un porcentaje cuantificado de Cemento Portland para obtener resultados que se compararán con los obtenidos de una mezcla elaborada de manera convencional.

Esto usando material obtenido de un banco de material en Maravatio, de origen volcánico. A este material se le realizan los ensayos, aunque en algunas pruebas no cumpla con las normas vigentes que determinan la calidad del material se seguirá utilizando para la presente tesis. Así como también se realizan las pruebas para el cemento asfáltico. Para la elaboración de nuestros especímenes se usó el Método Marshall que es aplicable a nuestro material que tiene un tamaño máximo de agregado de 1”, para la obtención del contenido óptimo de asfalto se emplearon el método de la superficie específica y la formula analítica de la SCT donde se obtuvieron porcentajes de asfalto bajo, con la ayuda y experiencia del técnico optamos por empezar con un porcentaje mayor que la obtenida debido a que nuestro material tiene un porcentaje de absorción alto. Después de obtener nuestro contenido óptimo se usó el Cemento Portland esto en la parte de los finos ósea el material que pasa la malla N° 200 en dos porcentajes. Para después probar estos especímenes y compararlos con los convencionales. Al final se muestran las gráficas y los valores obtenidos de cada ensayo.

OBJETIVO.

Como en todo proyecto de ingeniería, la filosofía básica se centra en cambiar de posición los elementos con que contamos en la naturaleza, permitiéndoles adoptar nuevas formas que faciliten el aprovechamiento y el desarrollo de la humanidad.

El objetivo principal consiste en hacer un análisis comparativo de diferentes tipos de mezclas asfálticas. En donde las propiedades que consideraremos son: Estabilidad, Flujo, Vacíos, Vacíos de agregado mineral, Peso volumétrico seco suelto. Estas mezclas fueron elaboradas por el método Marshall, con una granulometría densa y elaboradas en caliente, cabe destacar que las primeras fueron elaboradas de manera convencional que es la mezcla de Material Pétreo y Cemento Asfáltico y las segundas se le agrega un porcentaje de Cemento Portland.

Obteniendo nuestro contenido óptimo de asfalto que satisfaga las condiciones, hacemos la segunda mezcla en donde se sustituye un porcentaje de Cemento Portland en la porción de finos, esto con la finalidad de obtener mejores resultados y beneficios para la mezcla. Y esto lo describo en la parte final en donde se propone en un futuro análisis reducir nuestro contenido óptimo de asfalto y aumentar un pequeño porcentaje de Cemento Portland en una mezcla para reducir en costo una mezcla convencional, esto siguiendo las normativas vigentes que satisfagan los requisitos así como también emplear otro tipos de materiales, adoptando nuevas formas que faciliten el aprovechamiento y el desarrollo de la humanidad.

CAPITULO 1: ANTECEDENTES

1.1. Historia del Asfalto.

El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos. La palabra asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiría, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 A.C. en esta zona se encuentra en efecto la palabra “Sphalto” que significa “lo que hace caer”. Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó a latín y, más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt). Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado. En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C. excavaciones efectuadas en TellAsmer, a 80 km al noroeste de Bagdad, permitieron constatar que los Sumerios habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción, dicho mastic, compuesto por betún, finos minerales y paja, se utilizaba en la pega de ladrillos, en la realización de pavimentos interiores y como revestimiento impermeable. Los Egipcios le habían encontrado otra aplicación al betún, como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, práctica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 A.C. Los Árabes desarrollaron un uso medicinal al asfalto, el cual se extendió hasta nuestra época. El betún natural fue descubierto a mediados del siglo XVI, en la isla de Trinidad, por Cristóbal Colón, un siglo más tarde, Sir Walter Raleigh quedó asombrado ante este lago de betún y tomó posesión de él para la Corona Británica. Mientras tanto, en 1712, el griego Eirini D'Eyrinis hizo otro descubrimiento: el yacimiento de asfalto de Val de Travers en Suiza y luego el yacimiento de Seyssel en el Valle de Ródano, a partir de estos yacimientos se elaboró el “mastic de asfalto”, aplicado a revestimientos de caminos y senderos. Sin embargo, el primer antecedente en el cual se usó un tipo de asfalto fue en Francia en 1802. En 1824, la firma Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines de asfalto, que en 1837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los Campos Elíseos en París. En 1852, la construcción de la carretera París – Perpiñán utilizó el asfalto Val Travers, significando el comienzo de una nueva forma de construcción vial. En 1869, se introduce el procedimiento en Londres (con asfalto de Val de Travers), y en 1870 en Estados Unidos con similar ligante. Desde esta época, el “asfalto” se implantó sólidamente en las vías urbanas y propició su uso vial. La construcción del primer pavimento, tipo Sheet Asphalt, ocurre en 1876 en Washington D.C., con asfalto natural importado. En 1900, aparece la primera mezcla en caliente, utilizada en la rue du Louvre y en la Avenue Victoria en París, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la isla de Trinidad. A partir del año 1902, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo en los Estados Unidos, que por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento. Finalmente, en México, desde 1920, se han realizado diversas pruebas con varios materiales para ser utilizados en riegos superficiales y profundos. Las emulsiones asfálticas se utilizaron por primera vez en las carreteras en los años treinta, pero fue hasta los años setenta cuando debido a la crisis energética, se incrementan los estudios de este tipo de materiales asfálticos llamados emulsiones.

1.2. ¿Qué es un asfalto?

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites elementos que proporcionan características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida. Estos pueden tener dos orígenes; los derivados de petróleos y los naturales. Los asfaltos naturales, se han producido a partir del petróleo, pero por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas solamente. Estos pueden encontrarse como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a los lagos de asfalto, como los de las islas Trinidad y Bermudas. También aparecen impregnando los poros de algunas rocas, denominándose rocas asfálticas. Así también se encuentran mezclados con elementos minerales, como pueden ser arenas y arcillas en cantidades variables, debiendo someterse a posteriores procesos de purificación, para luego poder ser utilizadas en pavimentación. En la actualidad, no es muy utilizado este tipo de asfalto por cuanto adolece de uniformidad y pureza.

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

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

- Petróleos crudos de base asfáltica.
- Petróleos crudos de base parafínica.
- Petróleos crudos de base mixta (contiene parafina y asfalto).

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, por cuanto precipita a temperaturas bajas, formando una segunda fase discontinua, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la pérdida de ductilidad, con los crudos asfálticos esto no sucede, dada su composición. El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación en el cual se separan las fracciones livianas como la nafta y keroseno de la base asfáltica mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior. El asfalto es además un material bituminoso pues contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono. El alquitrán obtenido de la destilación destructiva de un carbón graso, también contiene betún, por lo tanto también es un material bituminoso pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente. El asfalto de petróleo moderno, tiene las mismas características de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños.

1.3. Composición del Asfalto.

El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre fase continua y dispersa. Las primeras experiencias para descubrir su estructura, fueron desarrolladas por Nellensteyn en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por Pfeiffery Saal en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos. Las resinas contenidas en los maltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los insolubles asfáltenos. Los maltenos y asfáltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.

1.4. Obtención del asfalto en refinerías.

El crudo de petróleo es una mezcla de distintos hidrocarburos que incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy complejos, los componentes del asfalto. Para obtener este debe separarse entonces las distintas fracciones del crudo de petróleo por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo:

1.4.1. Destilación Primaria.

Es la operación a que se somete el crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375° C. Los componentes livianos (nafta, kerosene, gas oil), hierven hasta esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionada. El líquido o residuo de destilación primaria se junta todo en el fondo de la columna y de ahí se bombea a otras unidades de la refinería.

1.4.2. Destilación al Vacío.

Para separar el fondo de la destilación primaria, otra fracción libre de asfáltenos y la otra con el concentrado de ellos, se recurre comúnmente a la destilación al vacío. Difiere de la destilación primaria, en que mediante equipos especiales se baja la presión (aumenta el vacío) en la columna fraccionada, lográndose así que las fracciones pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica. El producto del fondo de la columna, es un residuo asfáltico más o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío. De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la columna de destilación, se obtendrán distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos.

1.4.3. Desasfaltización con Propano o Butano.

El residuo del vacío obtenido, contiene los asfáltenos dispersos en un aceite muy pesado, que, a la baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se destila). Una forma de separar el aceite de los asfáltenos es disolver (extraer) este aceite en gas licuado de petróleo. El proceso se denomina “desasfaltización” y el aceite muy pesado obtenido, aceite desasfaltizado. Se utiliza como solvente propano o butano líquido, a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120 ° C). El gas licuado extrae el aceite y que da un residuo semisólido llamado “bitumen”.

Se muestra en forma esquemática el proceso de refinación del petróleo:

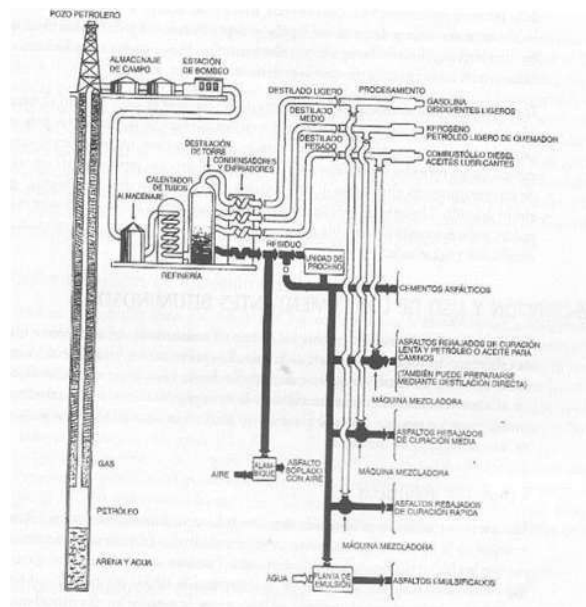


Fig. 1.1 Proceso de refinación del petróleo (Instituto del asfalto)

1.5. Características del Asfalto.

El asfalto es un líquido viscoso constituido esencialmente por hidrocarburos o sus derivados, a continuación enlistamos algunas de sus características:

- Consistencia: Se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. A altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definirla.
- Durabilidad: Capacidad para mantener sus propiedades con el paso del tiempo y la acción de agentes envejecedores.
- Susceptibilidad Térmica: Variación de sus propiedades con la temperatura.

Seguridad: Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación.

1.6. Procesos del Asfalto.

El asfalto cuenta con tres tipos de procesos de mejoramiento, tanto físicos como químicos, descritos a continuación:

Proceso Químico:

- Polimeración: Formación de moléculas más grandes, generando una estructura más rígida. Depende del tipo de asfalto y la temperatura. Proceso irreversible pero se puede atenuar.

- Oxidación: Es una reacción entre el asfalto y el oxígeno, es una forma de polimeración. Proceso Físico – Químico:

- Volatilización: Evaporización de los componentes más livianos del asfalto. Depende únicamente de la temperatura, proceso reversible pero no se logra el mismo material.

Proceso Físico:

Endurecimiento térmico (reversible).

- Endurecimiento en la vecindad del agregado (no reversible).

- Fatiga.

1.7. Asfalto en México

Actualmente la red carretera de México consta de aproximadamente 360 mil kilómetros de vías, de las cuales alrededor de 133 mil son pavimentadas y del total de vías pavimentadas más del 95% son con concreto asfáltico.

Por carretera se transporta 73.6% de la carga (473.8 millones de toneladas) y 90.9% de los pasajeros (3 141 millones). Por ello la red carretera es, por mucho, la columna vertebral de la vida económica del país.

En la actualidad, el estado de la red dista de ser óptimo pues, debido a varios factores, una buena parte de ella presenta diversos grados de deterioro. Sin duda, uno de los que más destacan es el hecho de que arriba de 60% de los tramos existentes se construyeron hace más de 40 años, con criterios de diseño, especificaciones y materiales diferentes a los exigidos en la práctica moderna. Además los volúmenes de tránsito que circulan hoy por la red federal son mucho mayores a los previstos en su diseño original, y el tránsito de vehículos pesados se ha incrementado hasta en un 50% en algunos tramos. La importancia del sector ha generado la necesidad de conservar, modernizar y extender la infraestructura carretera nacional; sin embargo, es imperativo avanzar en el estudio y caracterización de nuevos materiales; en la revisión, puesta al día y mejoramiento de los métodos actuales de diseño y en la ejecución de investigaciones experimentales con pruebas de simulación de desempeño de asfaltos y mezclas asfálticas que representen de mejor manera las condiciones a las que están sometidas durante su construcción y operación.

Las mezclas asfálticas asumen un papel fundamental en los pavimentos flexibles no solo por los volúmenes requeridos en su construcción, sino porque constituyen la parte más costosa de los mismos, y la superficie por la que transitan diariamente los millones de vehículos.

La mayoría de las fallas que se presentan en los pavimentos del país (grietas, baches, asentamientos, etc.) se deben a que no se diseña la mezcla asfáltica adecuada para cada carretera en específico (con características de tráfico y clima propias), sino que para todas se emplea un solo tipo de mezcla, generalmente con granulometría densa de $\frac{3}{4}$ " a finos.

1.7.1. El sistema carretero en México 2012



Fig. 1.2 Estadísticas Sistema carretero mexicano



Fig. 1.3 Estadísticas Sistema carretero 133,000 km de carreteras pavimentadas

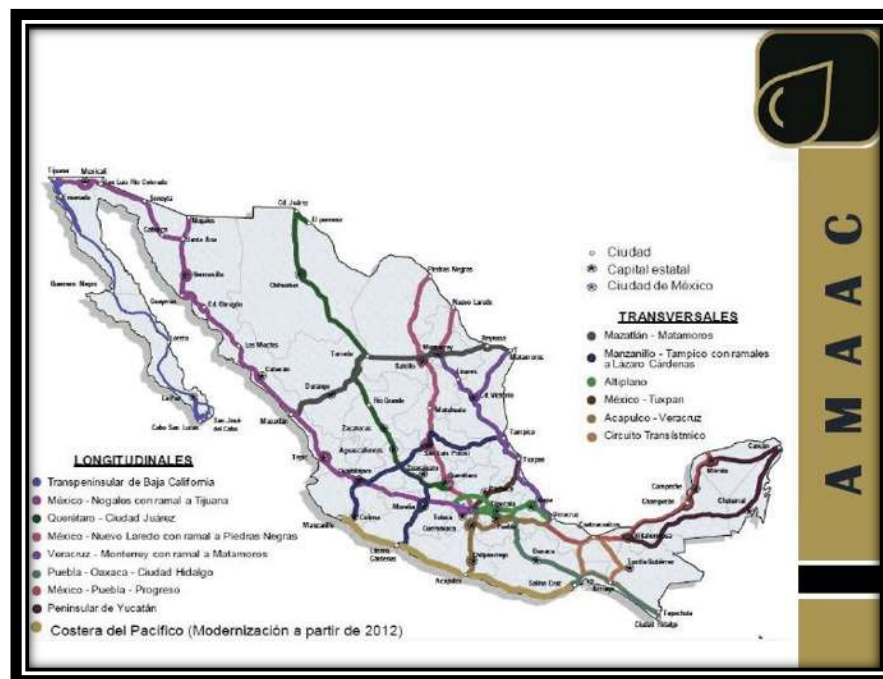


Fig. 1.4 Red carretera nacional

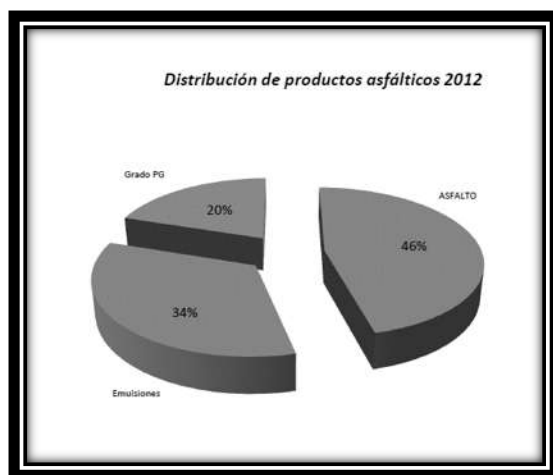
Inversión

RED FEDERAL	2012 (MILLONES DE PESOS)	*2013 (MILLONES DE PESOS)
CAMINOS DE ACCESO	13,379.4	13,000.0
CONSERVACIÓN	9,334.8	9,500.0
CARRETERAS FEDERALES	25,925.4	26,000.0
TOTAL	48,639.6	48,000.0

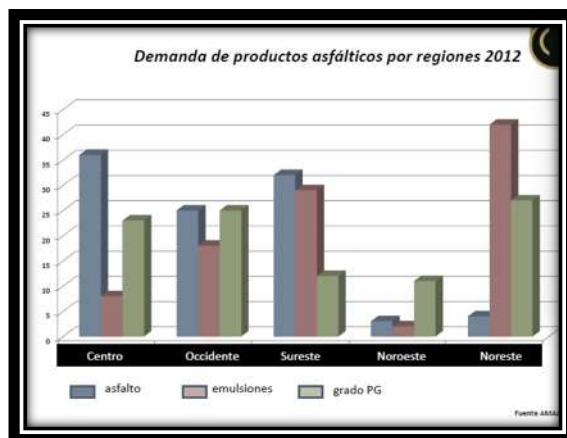
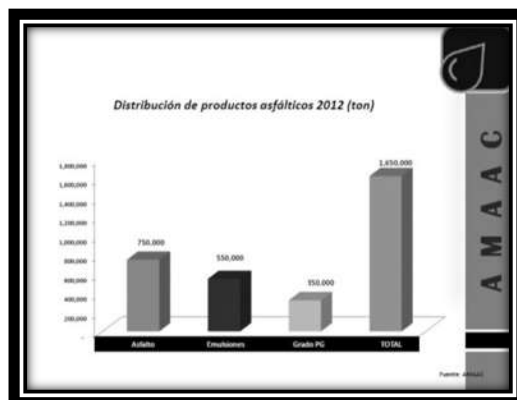
Demanda de asfalto 2012

ASFALTO UTILIZADO	PORCENTAJE	VOLUMEN (TONS)
CARRETERAS FEDERALES	70	1,225
AUTOPISTAS	4	75
CAMINOS ESTATALES Y VIALIDADES EN CIUDADES	20	350
OTROS (IMPERMEABILIZANTES, ETC)	6	100
TOTAL	100	1,750

Distribución de productos asfálticos 2012



Distribución de productos asfálticos 2012 (ton)



Demanda de productos asfálticos por regiones 2012

Demanda total estimada de emulsiones (ton)

APLICACIONES	PORCENTAJE	VOLUMEN
Mezcla fría	50	275,000
Tratamientos superficiales	25	137,500
Otros	25	137,500
Total	100	550,000

PEMEX

Refinerías	6
Terminales de almacenaje y distribución	77
Terminales marinas	15
Tanques	1360
Tuberías de distribución	13,762 Km
Capacidad de procesamiento	1,540 MDB

Suministro de asfalto 2012

FUENTE DE SUMINISTRO	VOL (ton)
PEMEX	1,400,000
IMPORTACIONES	250,000
TOTAL DE ASFALTO	1,650,000

Empleo de productos asfálticos 2012

CONCEPTO	VOLUMEN (ton)
Asfalto en pavimentos	1,100
Emulsiones en pavimentos	550
Techumbres	100
TOTAL	1,750

CAPITULO 2: ANÁLISIS DEL MATERIAL PÉTREO.

2.1. Introducción

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.

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.

2.2. Definición de agregado

Los agregados pétreos son materiales granulares sólidos inertes, usados para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen la arena, la grava, la escoria de alto horno, o la roca triturada y polvo de roca. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad soportante.

2.2.1. Tipos de agregados

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 ó de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales de canteras cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

c) Agregados Artificiales. Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

2.3. Acopio y manejo de agregados

Acopio de agregado

Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad es esencial tener buenos procedimientos de acopio de reservas. Los agregados retienen su graduación si son adecuadamente acopiados. Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado se segregan (separan por tamaño), y la graduación varía en los diferentes niveles del acopio. El Ingeniero deberá estar al tanto de los efectos producidos, en la graduación del agregado, por las diferentes prácticas de acopio, y siempre deberá fomentar las buenas prácticas.

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

Manejo de agregado

El manejo de agregado es muy importante ya que las partículas individuales de agregado causan segregación cuando se trata de partículas que presentan diferentes tamaños, por lo tanto, el manejo de agregado debe ser mínimo para poder prevenir cualquier degradación y segregación. El manejo mínimo incluye apartar el agregado de las reservas para que pueda ser procesado adicionalmente, y para luego ser mezclado en la planta de mezcla en caliente.

2.4. Clasificación de las rocas

Las rocas se pueden clasificar atendiendo a sus propiedades, como la composición química, la textura, la permeabilidad, entre otras. En cualquier caso, el criterio más usado es el origen, es decir, el mecanismo de su formación. De acuerdo con este criterio se clasifican en ígneas (o magmáticas), sedimentarias y metamórficas, aunque puede considerarse aparte una clase de rocas de alteración, que se estudian a veces entre las sedimentarias.

Las rocas ígneas forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica. Si el enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie se forman rocas con cristales grandes denominadas rocas plutónicas o intrusivas, mientras que si el enfriamiento se produce rápidamente sobre la superficie, por ejemplo, tras una erupción volcánica, se forman rocas con cristales invisibles conocidas como rocas volcánicas o extrusivas. La mayor parte de los 700 tipos de rocas ígneas que se han descrito se han formado bajo la superficie de la corteza terrestre. Ejemplos de rocas ígneas son: la diorita, la riolita, el pórfido, el gabro, el basalto y el granito. Las rocas ígneas componen, aproximadamente, el noventa y cinco por ciento de la parte superior de la corteza terrestre, pero quedan ocultas por una capa relativamente fina pero extensa de rocas sedimentarias y metamórficas.

Las rocas ígneas son geológicamente importantes porque:

Sus minerales, y química global dan información sobre la composición del manto terrestre, del cual procede el magma que origina las rocas ígneas, y de la temperatura y condiciones de presión reinantes cuando se formó la roca, o de la roca pre-existente que se fundió;

Sus edades absolutas pueden obtenerse por varios sistemas de datado radiométrico, y así puede ser comparadas con estratos geológicos adyacentes, permitiendo una secuencia de tiempo de los eventos;

Sus características corresponden usualmente con características de un ambiente tectónico específico, permitiendo reconstituciones eventos tectónicos (ver tectónica de placas);

En algunas circunstancias especiales, contienen importantes depósitos minerales, como tungsteno, estaño y uranio, comúnmente asociados a granitos, cromo y platino, comúnmente asociados a gabros.

Las rocas sedimentarias son rocas que se forman por acumulación de sedimentos, los cuales son partículas de diversos tamaños que son transportadas por el agua, el hielo o el aire, y sometidas a procesos físicos y químicos (diagénesis), y dan lugar a materiales consolidados. Las rocas sedimentarias pueden formarse a las orillas de los ríos, en el fondo de barrancos, valles, lagos, mares, y en las desembocaduras de los ríos. Se hallan dispuestas formando capas o estratos.

Existen procesos geológicos externos que actúan sobre las rocas preexistentes, estos agentes las meteorizan, transportan y depositan en diferentes lugares dependiendo del transporte (agua, viento, hielo). De igual manera, distintos organismos animales o vegetales pueden contribuir a la formación de rocas sedimentarias (fósiles).

Las rocas sedimentarias pueden existir hasta una profundidad de diez kilómetros en la corteza terrestre. Estas rocas pueden presentarse sueltas o consolidadas, es decir, que han sido unidas a otras por procesos posteriores a la sedimentación, conocidos como diagénesis.

Las rocas sedimentarias cubren más del 75 % de la superficie terrestre, formando una cobertura sedimentaria que se encuentra sobre rocas ígneas y, en menor medida, en metamórficas. Sin embargo su volumen total es pequeño cuando se comparan sobre todo con las rocas ígneas, que no solo forman la mayor parte de la corteza, sino la totalidad del manto.

Las rocas metamórficas son las que se forman a partir de otras rocas mediante un proceso llamado metamorfismo. El metamorfismo se da indistintamente en rocas ígneas, rocas sedimentarias u otras rocas metamórficas, cuando éstas quedan sometidas a altas presiones (de alrededor de 1.500 bar), altas temperaturas (entre 150 y 200 °C) o a un fluido activo que provoca cambios en la composición de la roca, aportando nuevas sustancias a ésta. Al precursor de una roca metamórfica se le llama protolito. Las rocas metamórficas se clasifican según sus propiedades físico-químicas. Los factores que definen las rocas metamórficas son dos: los minerales que las forman y las texturas que presentan dichas rocas. Las texturas son de dos tipos, foliadas y no foliada.

Textura foliada: Algunas de ellas son la pizarra (al romperse se obtienen láminas), el esquisto (se rompe con facilidad) y el gneis (formado por minerales claros y oscuros).

Textura no foliada: Algunas de ellas son el mármol (aspecto cristalino y se forman por metamorfismo de calizas y dolomías), la cuarcita (es blanca pero puede cambiar por las impurezas), la serpentinita (que al transformarse origina el asbesto) y la canchagua.

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

- 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.

2.5. Identificación, muestreo, transporte y preparación.

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

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

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

La muestra del agregado pétreo se obtuvo en el banco de material cerro los nogales en el municipio de Maravatio, Michoacán. Con coordenadas $19^{\circ}46'57.81''\text{N}$ $100^{\circ}26'32.20''\text{O}$, Altitud 2239 m.



Fig. 2.1. Ubicación del banco de material donde obtuve material pétreo

2.6. 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 se prosigue a llenar el recipiente de volumen conocido, agarrando el material con un cucharón y dejándolo caer a una distancia de entre 20 a 25 cm. al centro del recipiente, sin moverlo alteradamente, apretar o apisonar el material hasta llenarlo. Hecho lo anterior se enrasa, lo más común es con un hilo o un laso delgado que permita maniobrar bien el enrasé, después se pesa y se registra como peso del material seco (W_1) Después se le resta el peso del recipiente (W_2) dividiéndolo entre el volumen (V) del mismo, se obtiene el peso volumétrico seco suelto del material pétreo.

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

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

Dónde:

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

W_1 = Peso del material seco (Kg)

W_2 = Peso del recipiente (Kg)

V = Volumen del recipiente (Lts.)

En la prueba realizada los resultados fueron los siguientes:

Calculo del 1er peso:

$$P. V. S. S = \frac{5947 - 1,847}{2.85} = 1438.60 \frac{\text{KG}}{\text{M}^3}$$

Para el 2º peso:

$$P. V. S. S = \frac{5988 - 1,847}{2.85} = 1452.98 \frac{\text{KG}}{\text{M}^3}$$

3er Peso:

$$P. V. S. S = \frac{6,725 - 1,847}{2.85} = 1390.53 \frac{\text{KG}}{\text{M}^3}$$

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

$$\text{P.V.S.S.} = 1427.37 \text{ KG/M}^3$$



Fig. 2.2. Peso del material



Fig. 2.3. Muestra del material pétreo

2.7. Granulometría de materiales pétreos para mezclas asfálticas.

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

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

Objetivo de la prueba

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

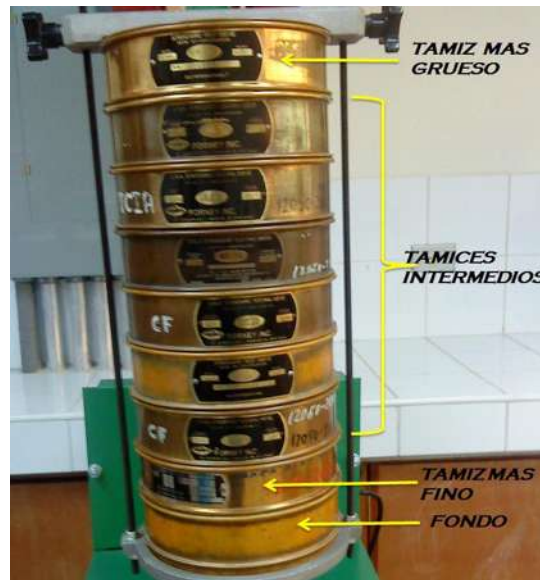


Fig. 2.4. Diferentes tipos de mallas

Procedimiento de la prueba: Para la prueba utilizaremos el método más común, que es el de cribado, el cual consiste en separar una muestra representativa en sus diferentes tamaños por medio de mallas que van de mayor a menor, para después pesar el retenido por cada una de estas mallas y así tener un porcentaje representativo el cual nos servirá para hacer una comparación que nos indique si el material está bien graduado o mal graduado.



Fig. 2.6. Material pétreo a cribar



Fig. 2.7. Material grueso



Fig. 2.8. Material cribado



Fig. 2.9. Material fino

Requisitos de granulometría del material pétreo el cual nos restringe los porcentajes mínimos y máximos que debe tener un material pétreo bien graduado en función de su tamaño y del tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes acumulados durante la vida útil del pavimento.

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

Tabla 3 N-CMT-4-04-08- Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (Para cualquier valor de la vida útil del pavimento ΣL).

El resultado del cribado del material es el siguiente:

Material grueso de la muestra.

MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
1" 1/2	37.5	-----	-----	-----	100
1"	25	31	2.21	2.21	97.79
3/4"	19	188	13.43	15.64	84.36
1/2"	12.5	240	17.14	32.79	67.21
3/8"	9.5	153	10.93	43.71	56.29
1/4 "	6.3	183	13.07	56.79	43.21
N° 4	4.75	105	7.50	64.29	35.71
Pasa N° 4		500	35.71	100.00	0.00
Suma		1400	100.000		

Tabla 2.1- Material grueso de la muestra representativa

Porción fina de la muestra.

MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
10	2	213	15.21	15.21	20.50
20	0.85	112	8.00	23.21	12.50
40	0.425	62	4.43	27.64	8.07
60	0.25	23	1.64	29.29	6.43
100	0.15	29	2.07	31.36	4.36
200	0.075	25	1.79	33.14	2.57
Pasa N° 200		36	2.57	35.71	0.00
Suma		500	35.71		

Tabla 2.2. Material fino de la muestra representativa

Requisitos de granulometría del material pétreo el cual nos restringe los porcentajes mínimos y máximos que debe tener un material pétreo bien graduado en función de su tamaño (1”) y del tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes acumulados durante la vida útil del pavimento.

Malla		Tamaño del material petreo en (mm) in		
Abertura (mm)	Designacion	25 mm(1")	% Que pasa	
		% Que pasa en la muestra de granulometria		
37.50	1" 1/2	100	100.00	PASA
25.00	1"	90 a 100	97.79	PASA
19.00	3/4"	79 a 90	84.36	PASA
12.50	1/2"	58 a 71	67.21	PASA
9.50	3/8"	47 a 60	56.29	PASA
6.30	1/4 "	36 a 46	43.21	PASA
4.75	N° 4	30 a 39	35.71	PASA
2.000	10	17 a 24	20.50	PASA
0.850	20	9 a 16	12.50	PASA
0.425	40	5 a 11	8.07	PASA
0.250	60	4 a 9	6.43	PASA
0.150	100	2 a 7	4.36	PASA
0.075	200	1 a 4	2.57	PASA

Tabla 2.3.Requisitos de granulometría del material pétreo

Tamaño máximo de 1" Primera condición: que el material pase el 100% por la malla de 1 1/2", pero se retenga el 5% o menos, en la malla de 1".O bien Segunda condición: que el material pase el 100% por la malla de 1", pero se retenga más del 10% en la malla de 3/4".

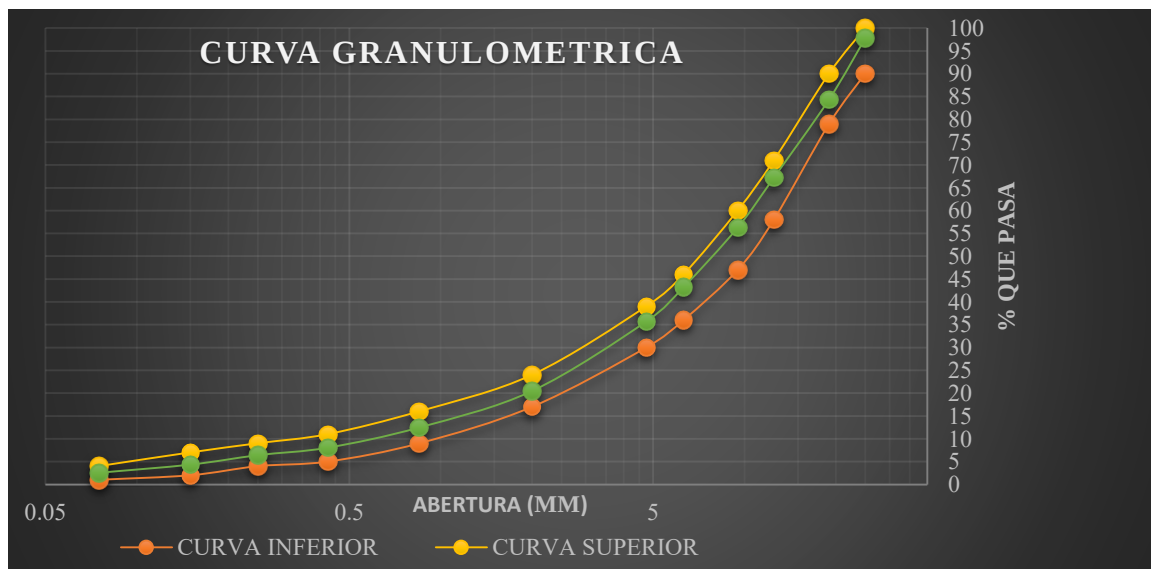


Fig. 2.10. Curva granulométrica del material

2.8. 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 ± 5 °C durante 20 horas. Transcurrido el tiempo, el material se saca del horno y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

Una vez enfriado, se determina el peso del material seco (P_s) y se registra en gramos. Con las siguientes expresiones se calcula la densidad y la absorción, respectivamente:

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

Dónde:

D= Densidad relativa aparente

P_s = Peso seco del material (gr.)

V= Volumen desalojado de agua (cm³)

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

Dónde:

Ph= Peso húmedo del material (gr.)

Ps= Peso seco del material (gr.)

En la prueba realizada los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$Dr = \frac{415}{200} = 2.07$$

Y el % de absorción del material:

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \frac{415 - 393}{393} * 100 = 5.598\%$$

Para el 2º cálculo resulto:

$$Dr = \frac{425}{205} = 2.073$$

El % de absorción del segundo cálculo es:

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \frac{425 - 405}{405} * 100 = 4.938 \%$$

Para el 3er cálculo resulta:

$$DR = \frac{345}{168} = 2.054$$

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \frac{345 - 328}{328} * 100 = 5.183 \%$$

El promedio de los cálculos realizados de esta práctica es: **D= 2.066**

Tanto del % de absorción promedio resultado:

5.24 %



Fig. 2.11. Material Pétreo a emplear



Fig. 2.12. Peso del material



Fig. 2.13. Saturación del material



Fig. 2.14. Secado superficial del material

2.9. Equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas

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

Objetivo de la prueba

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

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

Solución de reserva

Se disuelve 454 gr. de cloruro de calcio en 1.9 Lts. de agua destilada. Se enfría la solución al aire libre, hasta alcanzar la temperatura ambiente y después se pasa a través de papel filtro.

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

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

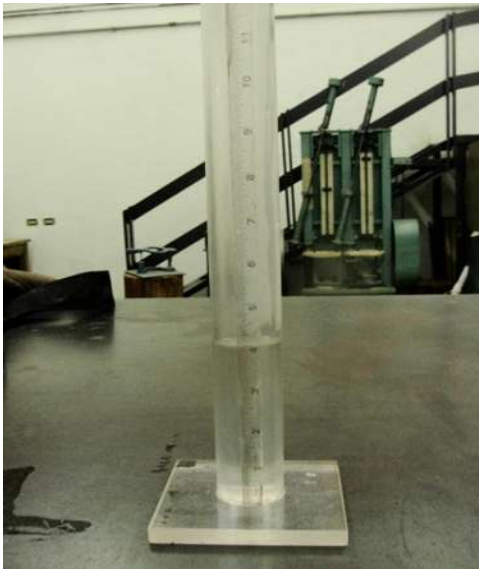


Fig. 2.14. Probeta para práctica



Fig. 2.15. Material representativo



Fig. 2.16. Probetas con material

2.10. Desgaste mediante la prueba del desgaste de los ángeles.

Objetivo de la prueba

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

En esta prueba se utiliza la máquina de abrasión Los Ángeles, que está constituida por un cilindro de acero, hueco, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 71 cm. Y una longitud de 50 cm., provisto de una tapa lateral con cierre hermético y que lleva en su interior una placa de acero de 1" de espesor que se proyecta radialmente 9 cm. Sobre el cilindro en toda su longitud. El cilindro está montado sobre ejes fijos a las bases, pero que no se proyectan en su interior, de manera que pueda girar sobre su eje en posición horizontal con una velocidad angular de 30 a 33 r.p.m.

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

Procedimiento de la prueba

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

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

Tabla 2.1. Clasificación de los materiales según su granulometría.

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 B**, puesto que el mayor porcentaje de partículas se retiene en la malla 1/2” (12.5 mm).

Identificando el tipo de material, se toma la cantidad indicada en la tabla de las partículas retenidas en las mallas 1/2” (12.5 mm) y 3/8” (9.5 mm), se lava para eliminar el polvo adherido y se seca en el horno a una temperatura de 100 a 110° C.

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, que es de 500 revoluciones. Una vez concluida esta operación se procede a cribar el material a través de la malla N° 12 (1.70 mm), se pesa la porción retenida en dicha malla y se registra el peso como final.

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

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

Dónde:

D= Desgaste del material pétreo (%)

Wi= Peso inicial de la muestra (gr.)

Wf= Peso final de la muestra (gr.)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

Material Pétreo a utilizar:

A).- Material de 3/4” = 2,500 grs

B).- Material de 1/2” = 2,500 grs

C).- N° de Esferas = 11

D).- Tiempo = 14.5 minutos

Pi = 5,000 grs

Pf = 3614 grs

D= Desgaste del material pétreo (%) = 27.72 %



Fig. 2.18. Material para prueba



Fig.2.19. Maquina de abrasion de los Angeles

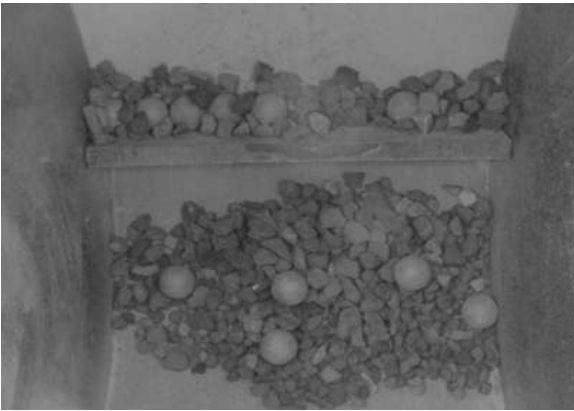


Fig.2.20. Material y esferas dentro de la maquina



Fig.2.21. Resultado de aprueba



Fig. 2.22. Material desgastado



Fig.2.23. Material retenido

2.11. Resumen de resultados

PRUEBA	RESULTADO	ESPECIFICACION
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO	1427.37 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 25 MM (1").	SE TOMO DE LA TABLA # 3 DEL LIBRO DE LA SCT. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES N•CMT•4•04/08
PRUEBAS DE DENSIDAD RELATIVA Y APARENTE Y ABSORCION.	DENSIDAD RELATIVA = 2.066 % DE ABSORCION = 5.24 %	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	93.19 %	DEL 50 % COMO MINIMO DE LA TABLA 4 NORMA N•CMT•4•04/08
DESGASTE MEDIANTE LA PRUEBA DEL DESGASTE DE LOS ANGELES.	27.72 %	DE 30 % COMO MAXIMO DE ACUERDO A TABLA 4 NORMA N•CMT•4•04/08

CAPITULO 3:

ANÁLISIS DEL CEMENTO ASFALTICO

3.1. El Asfalto

El asfalto es un componente del petróleo; motivo por el que, debido a la naturaleza del tema a tratar, es importante hablar brevemente de las características de este último, para después tratar con más claridad el tema. El petróleo es un producto natural localizado a grandes profundidades de la corteza terrestre, es una compleja mezcla de un importante número de hidrocarburos, y que por medio de una destilación fraccionada es dividida en pequeños grupos de estos hidrocarburos de volatilidad diferente. Estos hidrocarburos contienen en su estructura molecular carbono e hidrógeno principalmente. La composición química del petróleo varía, de acuerdo a la localización del yacimiento y la antigüedad del mismo, pero el promedio establecido es de 83% a 86% de carbono y entre el 11% y 13% de hidrógeno, esto beneficia al petróleo, ya que entre mayor sea el contenido de carbono contra el hidrógeno se tiene mayor cantidad de productos pesados que contienen el mismo crudo, en estudios realizados se ha comprobado que entre más viejos sean tienen mayores hidrocarburos gaseosos y sólidos y menos líquidos entran en su composición.

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

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

En la Fig. 3.1 se muestra un diagrama que indica de forma esquemática la obtención de los diferentes productos a los que da origen el betún, que es la forma en que se le llama al petróleo crudo. Para el ingeniero el asfalto es un material de particular interés porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia práctica que da flexibilidad controlable a las mezclas de agregados pétreos con las que se combinan usualmente. Además es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

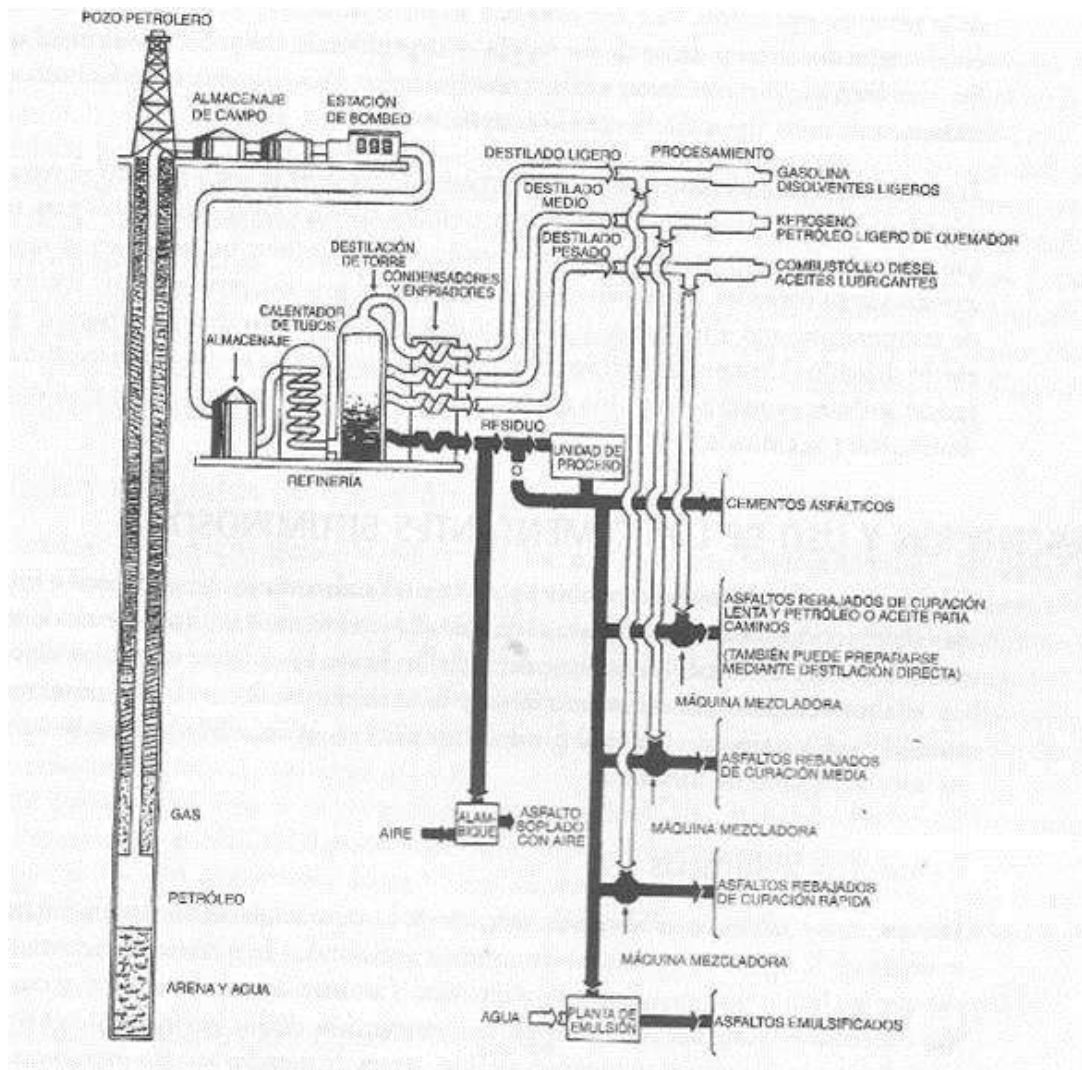


Fig. 3.1. Diagrama de la fabricación de productos asfálticos

3.2. CEMENTOS ASFÁLTICOS

Los cementos asfálticos son asfaltos obtenidos del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites. Su viscosidad varía con la temperatura y entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al ser calentados se licuan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas del material pétreo. Según su viscosidad dinámica a sesenta (60) grados Celsius, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la TABLA 3.1 de esta Norma, donde se señalan los usos más comunes de cada uno.

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa·s (P [1])	Usos más comunes
AC5	50 ± 10 (500 ± 100)	• En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 3.2 • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC10	100 ± 20 (1 000 ± 200)	• En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 3.2 • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 3.2
AC20	200 ± 40 (2 000 ± 400)	• En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Figura 3.2 • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 3.2
AC30	300 ± 60 (3 000 ± 600)	• En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la Figura 3.2 • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zonas 3 y 4 en la Figura 3.2 • En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.

TABLA 3.1. Clasificación de los cementos asfálticos

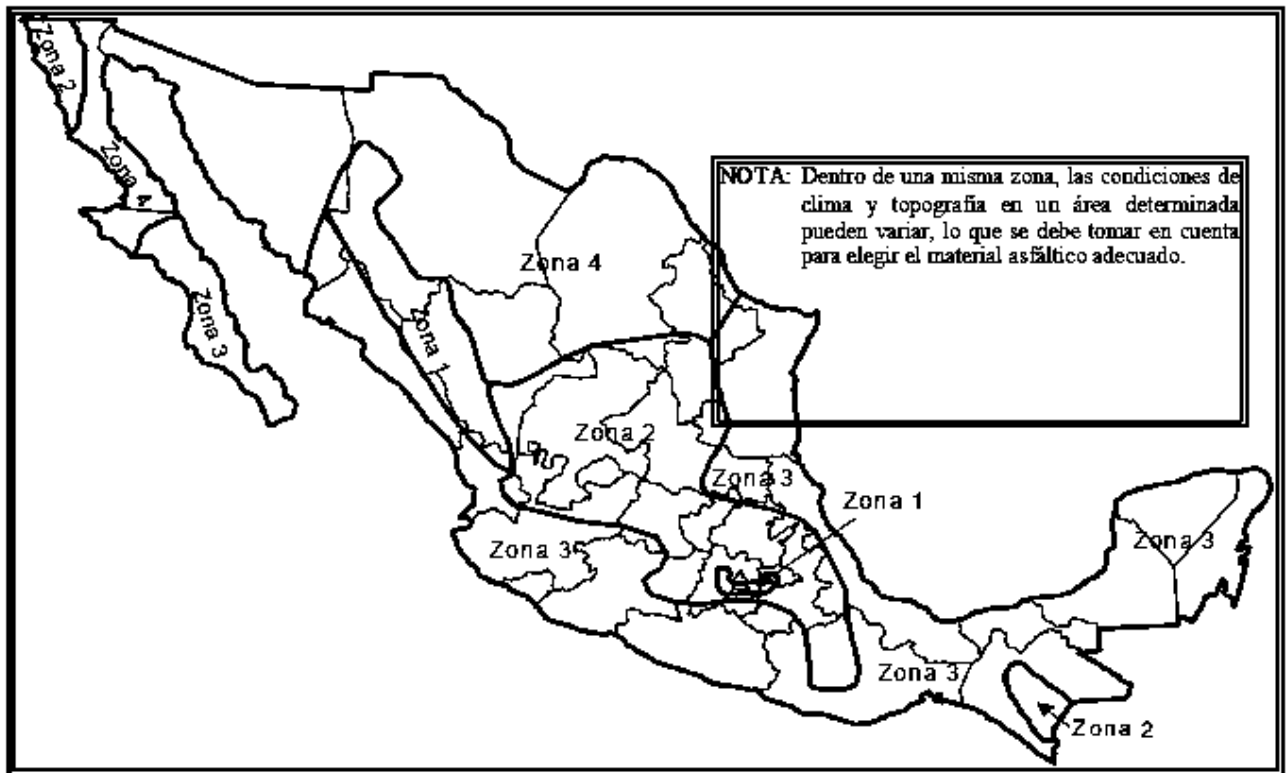


Fig. 3.2. Regiones geográficas para la utilización recomendable de Cementos asfálticos

La mayor parte del asfalto usado en México proviene de las Refinerías de México ubicadas en Tula, Hidalgo; Salamanca, Guanajuato; Madero, Tamaulipas; Cadereyta; Nuevo León y Salina Cruz, Oaxaca.

El asfalto es un material cementante, muy adhesivo, impermeable que varía en su consistencia ente sólido y semisólido a temperaturas ambiente. El asfalto se encuentra en yacimientos naturales o bien es producido en las refinerías. La mayor parte del asfalto usado en México proviene de las Refinerías de México ubicadas en Tula, Hidalgo; Salamanca, Guanajuato; Madero, Tamaulipas; Cadereyta; Nuevo León y Salina Cruz, Oaxaca. Algunas de estas refinerías suministran asfalto clasificado por su grado viscosidad como AC20 y AC5 y un asfalto clasificado por su grado comportamiento como **EKBE 64-22**. En México el asfalto es obtenido a través del proceso de destilación, del petróleo. El asfalto es considerado un sistema coloidal complejo, cuya coloración varía de marrón oscuro a negro, altamente viscoso, de olor característico y termoplástico, es decir, se ablanda y fluye a altas temperaturas mientras que a bajas temperaturas se endurece.

Comportamiento del asfalto

El asfalto es un material termoplástico cuyo comportamiento depende entre otros factores de la temperatura: En condiciones de temperatura alta (climas desérticos, verano) o cargas sostenidas (camiones de poca velocidad, intersecciones, montañas), el asfalto se comporta como un líquido viscoso. Si no se escoge el asfalto adecuado en estas condiciones las mezclas asfálticas pueden presentar un comportamiento plástico, susceptible a la formación de roderas y desplazamientos en intersecciones. En condiciones de baja temperatura (climas fríos, invierno), cargas rápidas (camiones a alta velocidad), el asfalto se comporta como un sólido elástico. En donde la mezcla es frágil y puede provocar grietas transversales y agrietamiento térmico (debido a que los esfuerzos internos inducidos por cambios de temperatura, exceden la resistencia).

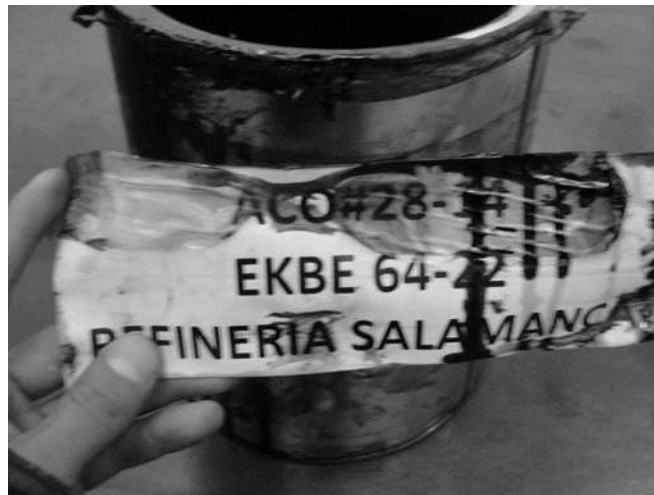


Fig.3.3. Cemento asfáltico Refinería Salamanca

REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTO ASFÁLTICO CLASIFICADO POR SU VISCOSIDAD DINÁMICA A 60°C

Características	Clasificación			
Del cemento asfáltico original:	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa*s (P[1])	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1000 ± 200)	200 ± 40 (2000 ± 400)	300 ± 60 (3000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135°C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s = 1 centistoke)	175	250	300	150
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10-1 mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 -43	45- 52	48 -56	50 – 58
Del residuo de la prueba de la película delgada:				
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1	0.5	0.5	0.5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa*s (P(1)), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm /min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25°C; %, mínimo	46	50	54	58

Tabla 3.2. Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado por su Viscosidad dinámica a 60°C

3.3. PRUEBA DE PENETRACIÓN EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

Objetivo de la prueba

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

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

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:

N° ENSAYE	GRADOS DE PENETRACION
1	69
2	72
3	74
4	66
5	71
Promedio	70.4



Fig.3.4.Capsula con el cemento asfáltico.

Penetraciones de la 2ª capsula:

N° ENSAYE	GRADOS DE PENETRACION
1	67
2	69
3	71
4	70
5	68
Promedio	69



Fig. 3.5. Penetro metro

PROMEDIO= 65.45

3.4. PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

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

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:

1- 245 °C

2- 251 °C

Promedio= 248°C



Fig. 3.6. Aplicando calor a Muestra

3.5- PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFÁLTICOS.

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

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

Objetivo de la prueba

Esta prueba permite estimar la consistencia de los cementos asfálticos y se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25 mm en una muestra de asfalto sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua o glicerina.

Procedimiento de la prueba.

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

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

En la prueba realizada el resultado es el siguiente:

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

Anillo= 54 °C



Fig. 3.7. Anillos prueba

Fig.3.8. Enrasado de c.a.

3.6- PRUEBA DE DUCTILIDAD DE CEMENTOS ASFÁLTICOS.

La ductilidad de un asfalto se define como la distancia en centímetros que puede alargarse una probeta normalizada antes de que el hilo así formado se rompa en las condiciones especificadas. Un cemento asfáltico debe tener cierta ductilidad por que los pavimentos bituminosos están sometidos a cambios de temperatura que producen dilataciones y contracciones. Además los esfuerzos producidos por la carga de los vehículos producen movimientos en el pavimento.

Objetivo de la prueba

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

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. 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.

En la prueba realizada el resultado obtenido es el siguiente:

BRIQUETA = 59 CM.



Fig. 3.9. Prueba de brigetas



Fig. 3.10. Máquina de prueba de ductilidad

3.7. RESUMEN DE RESULTADOS.

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

Características	Norma N-MCT-405-001-/06	Resultados prueba
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10-1 mm, mínimo	60	65.45
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	232	248
Punto de reblandecimiento; °C	48 -56	54
Ductilidad a 25°C y 5 cm /min; cm, mínimo	50	59

CAPITULO 4: ELABORACIÓN Y PRUEBA DE ESPECÍMENES

4.1. Generalidades

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado mineral son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen varios métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de agregado y asfalto en una mezcla, en este trabajo nos enfocaremos al método Marshall.

4.2. Características y comportamiento de la mezcla

Una muestra de mezcla asfáltica de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas pueden tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla.
- Vacíos de aire.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

4.2.1. Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante a supervisar, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa generalmente, en kilogramos por metro cubico (Kg/m^3) o libras por pie cubico (lb/ft^3). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que muy rara vez la compactación insitu logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

4.2.2. Vacíos de aire

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales esta entre 3 y 5 %, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie. La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor el porcentaje de vacíos, y viceversa.

4.2.3. Vacíos del agregado mineral

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo asfalto menos porción que se pierde por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VAM, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa de la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla. Para que pueda lograrse un espesor durable de la película de asfalto, se deben tener valores mínimos de VAM. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VAM por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto es perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VAM para economizar en el contenido del asfalto.

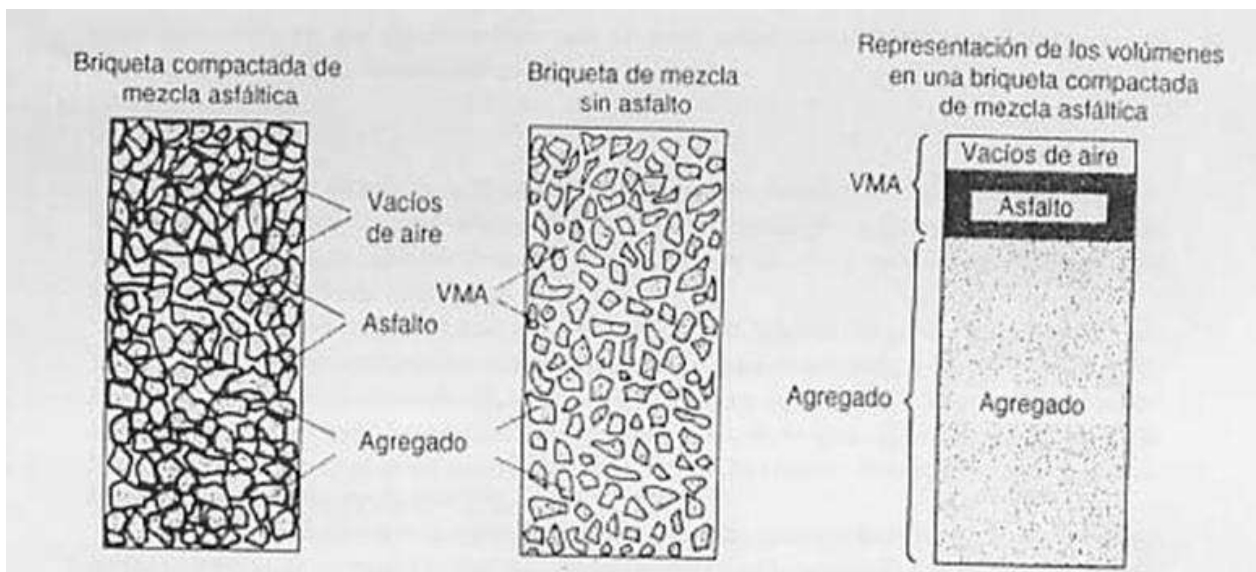


Figura 4.1. Ilustración del VMA en una Probeta de Mezcla Compactada

4.2.4. Contenido de asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionado con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerido para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficie total. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

4.3. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad del pavimento de mezclas en caliente estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. El objetivo principal de procedimiento de diseño de mezcla es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades.

4.3.1. Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma bajo las cargas repetitivas. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para soportar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exigen las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto menos durable que lo deseado. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre las partículas) está relacionada con las características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de los agregados se desplacen una respecto a otra debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales entre más angular sea la forma de las partículas del agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla en la tabla 4.1 podemos ver las causas y efectos de una estabilidad baja.

Estabilidad baja

Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla.	Ondulaciones, ahullamiento y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla.	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas superficies trituradas.	Ahullamiento y canalización.

Tabla 4.1. Causas y efectos de la baja estabilidad.

4.3.2. Durabilidad

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Generalmente la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima permeabilidad. La mayor cantidad de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas de asfalto no se envejecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración de aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos. Una graduación densa de agregado firme, duro, y resistente a la separación, contribuye de tres maneras a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla, en la tabla 4.2 nos muestra las causas y efectos de la durabilidad de un pavimento.

Poca durabilidad

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falla de compactación.	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua	Películas de asfalto de desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado.

Tabla 4.2. Causas y efectos de la durabilidad de un pavimento

4.3.3. Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso del aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relacionan con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es más importante que su cantidad. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, si están o no conectados y por el exceso que tienen a la superficie del pavimento, en la tabla podemos observar las causas y efectos de una mezcla demasiado permeable. Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptado siempre y cuando la permeabilidad este dentro de los límites especificados.

Causas y efectos de impermeabilidad.

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto.	Las películas delgadas de asfalto causaran, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño.	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y poca estabilidad.

Tabla 4.3. Causas y efectos de impermeabilidad.

4.3.4 Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Cuando la trabajabilidad es mala puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría, en la tabla se observa las causas y efectos de la mala trabajabilidad. La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillado, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios. Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiadas inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Mala trabajabilidad

Causas	Efectos
Tamaño máximo de partícula: grande.	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado.	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio.	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral.	Mezcla tierna, altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral.	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable.

Tabla 4.4. Causas y efectos de la mala trabajabilidad

4.3.5 Flexibilidad

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse sin que se agriete a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo). Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

4.3.6 Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falla de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento (el periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga como podemos ver en la tabla las causas y efectos que originan la mala resistencia a la fatiga. La característica de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto bajo las cargas como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

Mala resistencia a la fatiga

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga.
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falla de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

Tabla 4.5. Causas y efectos de la mala resistencia a la fatiga

4.3.7 Resistencia al deslizamiento

Es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento.

La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y una velocidad de 65km/hr. Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm a 12.5 mm. Además de tener una superficie áspera, los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos.

Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a las superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento, en la tabla se observa las causas y efectos de la poca resistencia al deslizamiento.

Poca resistencia al deslizamiento

Causas	Efectos
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo.
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Tabla 4.6. Causas y efectos de la poca resistencia al deslizamiento.

4.4. Métodos de diseño de mezclas asfálticas

El proceso de diseño de una mezcla asfáltica, independientemente del método de diseño utilizado, involucra la selección del agregado, selección del asfalto; compactación de los especímenes de prueba, el cálculo de los parámetros volumétricos; y la determinación del contenido de asfalto óptimo.

4.4.1. Método Marshall

El método de diseño de mezclas Marshall fue formulado por Bruce Marshall, Ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. Posteriormente, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró el procedimiento de prueba Marshall.

El método original de Marshall sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados con tamaño máximo de 25 mm (1”). Por su parte, el método Marshall modificado se desarrolló para tamaños de agregado mayores a 38 mm (1,5”); fue para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente de granulometría densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados, en términos de estimar el comportamiento en campo, se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba de 64 mm (2 ½”) de altura y 102 mm (4”) de diámetro. Se preparan usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método Marshall de diseño de mezclas son la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que desarrollará cuando es ensayado a una temperatura de 60 °C. El valor de flujo es el movimiento total o 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 (Asphalt Institute MS-2, 1996).

El método Marshall sólo establece requisitos para la granulometría y los parámetros volumétricos de la mezcla. Los requisitos de calidad del agregado y del asfalto los fijan las dependencias encargadas del desarrollo de la infraestructura; en el caso de México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es el organismo que establece los requisitos que deben cumplirse para diseño y control de mezclas asfálticas. El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi.

El Ensaño Marshall, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple.

Dicho cuerpo de ingenieros decidió adoptar el método Marshall, y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del Ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2.5in) de espesor por 103mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

A continuación se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el diseño Marshall.

Preparación para Efectuar los Procedimiento Marshall AASHTOT245

Selección de las Muestras de Material

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

Preparación del Agregado

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas del mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

• Secado del Agregado

El Método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos. Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a temperatura de 110 ° C (230 ° F). Después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa, y se registra su valor.

La muestra se calienta por segunda vez, y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

• Análisis Granulométrico por Vía Húmeda

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

- 1) Cada muestra de agregado es secada y pesada.
- 2) Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.
- 3) Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
- 4) El peso seco de cada muestra es registrada. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.

• Determinación del Peso Específico

El peso específico de una sustancia es la proporción peso-volumen de una unidad de esta sustancia comparada con la proporción peso-volumen de una unidad igual de agua. El peso específico de una muestra de agregado es determinado al comparar el peso de un volumen

dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). Por ejemplo una muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5.

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones agregadas, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

Preparación de las Muestras de Ensayo

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

- 1) El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- 2) Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla.
- 3) Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50, ó 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada biqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

4.4.2. Procedimiento del Ensayo

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

Determinación del Peso Específico Total (AASHTO T 166)

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.

Ensayos de Estabilidad y Fluencia

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- 1) Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60 ° C (140 ° F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- 2) La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
- 3) La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 in) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.
- 4) La carga falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

4.5. Características principales del ensayo Marshall

Valor de Estabilidad Marshall

Valor de Fluencia Marshall

Análisis de Vacíos

Análisis de Peso Unitarios

Análisis de VMA

Análisis VFA

4.5.1. Valor de Estabilidad Marshall

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. Luego se suspende la carga una vez que se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el Valor de Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

4.5.2. Valor de Fluencia Marshall

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

Análisis de Densidad y Vacíos

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

4.5.3. Análisis de Vacíos

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado; o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T 209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y agua.

4.5.4. Análisis de Peso Unitarios

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 100 kg/m³ (62.4 lb/ft³).

4.5.5. Análisis de VMA

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentran entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo del asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

4.5.6. Análisis VFA

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje.

4.6. Relaciones de los Resultados de los Ensayos

Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla. A continuación se enuncian ciertas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas.

- 1) el porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto
- 2) El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto
- 3) El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta con aumentos en el contenido de asfalto
- 4) La curva para el peso unitario (densidad) de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que el peso unitario máximo se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad
- 5) Hasta cierto punto, los valores de estabilidad aumenta a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto.
- 6) Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto.

4.7. Determinación del Contenido de Asfalto

El contenido de diseño de asfalto en la mezcla final de pavimentación se determina a partir de los resultados descritos anteriormente. Evalúe todas las propiedades calculadas y medidas para este contenido de asfalto, y compárelas con los criterios de diseño. Si se cumplen todos los criterios, es el contenido de diseño de asfalto. Si no se cumplen todos los criterios será necesario hacer algunos ajustes o volver a diseñar la mezcla.

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.

TAMAÑO DEL MATERIAL		AREA(M ² /KG)
PASA MALLA N°	RETIENE MALLA N°	0.27
1 1/2"	3/4"	0.41
3/4"	N°4	2.05
N°4	N°40	15.38
N°40	N°200	53.3
N°200		

Tabla 4.7. Constante de área

Constantes de área.

Para determinar la superficie total de la muestra se multiplica cada uno de las constantes de área por el porcentaje retenido por las mallas indicadas en la tabla 4.7, teniendo la superficie total de la muestra se multiplica por un índice asfáltico, el cual está en función de la angulosidad de las partículas y de la absorción de las mismas, el índice asfáltico se toma de la tabla 4.8, De acuerdo a las características que tiene nuestro material pétreo.

De la siguiente tabla 4.8. Tomamos en índice asfáltico dependiendo del tipo de material que escogimos para el cálculo de nuestras pruebas.

TIPO DE MATERIAL	INDICE ASFALTICO
GRAVAS O ARENAS DE RIO MATERIALES REDONDEADOS DE BAJA ABSORCION	0.0053
GRAVAS ANGULOSAS O REDONDEADAS, TRITURADAS DE BAJA ABSORCION	0.006
REDONDEADAS, DE ALTA ABSORCION Y ROCAS TRITURADAS DE MEDIA ABSORCION	0.007
ROCAS TRITURADAS DE ALTA ABSORCION	0.008

Tabla 4.8. Índice asfáltico dependiendo del tipo de material

La granulometría del material pétreo se muestra en la siguiente Tabla

MALLA N°	% QUE PASA
1" 1/2	100
1"	97.79
3/4"	84.36
1/2"	67.21
3/8"	56.29
1/4 "	43.21
4	35.71
10	20.50
20	12.50
40	8.07
60	6.43
100	4.36
200	2.57

Tabla 4.9. Granulometría del material

Como puede observarse en la tabla 4.8, para el tipo de material que tenemos de nuestra granulometría, corresponde un índice de 0.0070 por tratarse de material; Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción.

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

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

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

PASA MALLA N°	RETIENE MALLA N°	% EN PESO	CONSTANTE DE AREA(M²/KG)	SUPERFICI E PARCIAL	INDICE ASFALTICO	CONTENIDO DE ASFALTO
1 1/2"	3/4"	15.64	0.270	0.042228	0.007	0.000296
3/4"	N°4	48.65	0.410	0.199465	0.007	0.001396
N°4	N°40	27.64	2.050	0.566620	0.007	0.003966
N°40	N°200	5.50	15.380	0.845900	0.007	0.005921
PASA MALLA N° 200		2.57	53.300	1.369810	0.007	0.009589
TOTAL		100.00				0.021168

Tabla 4.10. Calculo del contenido minino de asfalto

Por lo tanto El contenido de asfalto es de 0.021168 kg de C.A. por kilogramo de material pétreo = 2.11681% en peso de cemento asfáltico.

Calculo del contenido mínimo de asfalto por el método formula analítica de la SCT.

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

Donde:

A= Contenido mínimo de asfalto

a= % de material retenido en la malla N°10

b= % de material que pasa la malla N°10 y se retiene en 200

c= % de material que pasa la malla N°200

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

MATERIAL	INDICE ASFALTICO
GRAVAS O ARENAS DE RIO MATERIALES REDONDEADOS DE BAJA ABSORCION	0.15
GRAVAS TRITURADAS DE BAJA ABSORCION	0.2
ROCAS TRITURADAS DE ABSORCION MEDIA	0.3
ROCAS TRITURADAS DE ALTA ABSORCION	0.35

Tabla 4.11. Índice asfáltico de acuerdo al tipo de material

a=	20.5
b=	10.71
c=	2.57
d=	0.35

$$\underline{A = 1.79}$$

$$\underline{A = 1.79145 \times 1.25 = 2.016 \% \text{ C.A.}}$$

Estos porcentajes son muy bajos por lo tanto empezaremos con el de 5% para nuestros cálculos de las pastillas.

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

Contenido Calculado en %	%C.A.
Contenido neto	5%
Contenido mas 0.5%	5.50%
Contenido mas 1.0%	6%
Contenido mas 1.5%	6.50%
Contenido mas 2.0%	7%
Contenido mas 2.5%	7.50%

Tabla 4.12. Diferentes porcentajes de C.A. a utilizar

Para la realización de la prueba se utilizará la máquina de compresión Marshall Figura 4.2 con capacidad de 3,000 kg. Accionada con un motor eléctrico, equipada con mordazas semicirculares para aplicar cargas a los especímenes de prueba a una velocidad de 2 Pulg/min. Y provista de un dinamómetro de anillo calibrado para cargas. Un extensómetro para medir la deformación vertical o flujo del espécimen.



Fig. 4.2. Prensa Marshall

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

Para cada contenido de asfalto se hacen tres pastillas, cada pastilla requiere de 1000 grs. la distribución de las partículas se hace conforme a la distribución de su granulometría, dicha distribución se muestra en la tabla siguiente:

MALLA N°		% RETENIDO	PESO TOTAL DE LA MUESTRA (gr)	PESO DEL MATERIAL (gr)
Pasa	Retiene			
1" 1/2	1"	2.21	1000	22.14
1"	3/4"	13.43	1000	134.29
3/4"	1/2"	17.14	1000	171.43
1/2"	3/8"	10.93	1000	109.29
3/8"	1/4 "	13.07	1000	130.71
1/4 "	N° 4	7.50	1000	75.00
N° 4	Pasa N° 4	35.71	1000	357.14
TOTAL		100.00		1000.00

Tabla 4.13. Porción gruesa del material pétreo.

MALLA N°		% RETENIDO	PESO TOTAL DE LA MUESTRA	PESO DEL MATERIAL (gr)
Pasa	Retiene			
Pasa N° 4	10	15.21	1000	152.16
10	20	8.00	1000	80.01
20	40	4.43	1000	44.29
40	60	1.64	1000	16.43
60	100	2.07	1000	20.72
100	200	1.79	1000	17.86
200	Pasa N° 200	2.57	1000	25.72
TOTAL		35.71		357.14

Tabla 4.14. Porción fina del material pétreo.

Contenido C.A.	PESO TOTAL DE LA MUESTRA (gr)	PESO DE CEMENTO ASFALTICO (gr)
5%	1000	50
5.50%	1000	55
6%	1000	60
6.50%	1000	65
7%	1000	70
7.50%	1000	75

Tabla 4.15. Porcentaje y peso de C.A. a utilizar



Fig. 4.3. Material Petreo a emplear



Fig. 4.4. Preparando material pétreo



Fig. 4.5. Material pétreo para cada pastilla

4.8. Procedimiento de la prueba.

Se calienta el material pétreo a una temperatura de 170 °C y el cemento asfáltico a 150 °C para realizar la mezcla asfáltica y obtener un mejor cubrimiento de partículas. Se vierte el cemento asfáltico en la proporción deseada de acuerdo a la tabla 4. Y se mezclan hasta lograr cubrir todas las partículas de material pétreo

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 150 °C, y en ningún caso se recalentará la muestra.



Fig. 4.6. Moldes de compactación calentándose en el horno a 100°C



Fig. 4.7. Cemento asfaltico a utilizar



Fig. 4.8. Cemento Asfáltico a utilizar



Fig. 4.9. Cemento asfáltico



Fig. 4.10. 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.

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.



Fig.4.11.Midiendo pastilla



Fig. 4.12. Pastillas de diferente % C.A.

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. 4.13. Mezcla lista para compactar

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. 4.14. Derretiendo Parafina



Fig. 4.15. Impermeabilizando cada pastilla



Fig. 4.16. Pastillas Impermeabilizadas



Fig. 4.17. Peso con parafina



Fig. 4.18. Peso pastilla con parafina en agua



Fig. 4.19. Pastillas en baño maria

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.



Fig.4.20. Prensa marshall



Fig. 4.21. Pastillas a prueba



Fig. 4.22. Pastillas después de la prueba



Fig. 4.23. Pastilla después de prueba

A continuación se muestran los espesores de cada pastilla de diferente porcentaje de Cemento Asfáltico.

Espesores de las pastillas (en cm):

Para el % de cemento asfáltico de 5 %:

1.- 7.60

2.- 7.60

3.- 7.60

Para el % de 5.5 de cemento asfáltico:

1.- 6.60

2.- 6.80

3.- 6.30

Para el % de 6 de cemento asfáltico:

1.- 7.30

2.- 7.20

3.- 7.10

Para el % de 6.5 de cemento asfáltico:

1.- 7.30

2.- 7.40

3.- 7.10

Para él % de 7 de cemento asfáltico:

- 1.- 7.0
- 2.- 6.50
- 3.- 6.90

Para él % de 7.5 de cemento asfáltico:

- 1.- 7.50
- 2.- 6.80
- 3.- 7.40

Tabla donde se muestran los pesos de las pastillas en aire, en aire mas parafina y sumergidas en el agua.

Peso de la pastilla en aire		Peso de la pastilla en aire mas parafina		Peso de las pastillas sumergidas en el agua	
Porcentaje	Gramos	Porcentaje	Gramos	Porcentaje	Gramos
5.00%	1046	5.00%	1064	5.00%	489
5.00%	1046	5.00%	1064	5.00%	489
5.00%	1046	5.00%	1064	5.00%	489
5.50%	1059	5.50%	1073	5.50%	498
5.50%	1057	5.50%	1076	5.50%	505
5.50%	1056	5.50%	1075	5.50%	497
6.00%	1062	6.00%	1091	6.00%	501
6.00%	1058	6.00%	1088	6.00%	504
6.00%	1063	6.00%	1086	6.00%	502
6.50%	1066	6.50%	1089	6.50%	502
6.50%	1068	6.50%	1093	6.50%	499
6.50%	1066	6.50%	1089	6.50%	506
7.00%	1072	7.00%	1095	7.00%	501
7.00%	1073	7.00%	1098	7.00%	498
7.00%	1071	7.00%	1098	7.00%	501
7.50%	1077	7.50%	1106	7.50%	504
7.50%	1076	7.50%	1104	7.50%	511
7.50%	1077	7.50%	1102	7.50%	509

Tabla 4.16. Peso de las pastillas de acuerdo al porcentaje de C.A. empleado.

Factores de corrección para la altura de los especímenes.

Especimen	Porcentaje	Altura (cm)	Volumen (cm³)	Factor de correccion
1	5.00%	7.6	616.16	0.76
2	5.00%	7.6	616.16	0.76
3	5.00%	7.6	616.16	0.76
4	5.50%	6.6	535.08	0.96
5	5.50%	6.8	551.30	0.89
6	5.50%	6.3	510.76	1
7	6.00%	7.3	591.84	0.81
8	6.00%	7.2	583.73	0.83
9	6.00%	7.1	575.62	0.83
10	6.50%	7.3	591.84	0.81
11	6.50%	7.4	599.94	0.78
12	6.50%	7.1	575.62	0.83
13	7.00%	7	567.51	0.86
14	7.00%	6.5	526.98	0.96
15	7.00%	6.9	559.41	0.86
16	7.50%	7.5	608.05	0.78
17	7.50%	6.8	551.30	0.89
18	7.50%	7.4	599.94	0.78

Tabla 4.17. Factores de corrección para la altura de los especímenes.

Tabla donde se muestran los valores obtenidos en la prueba de flujo y estabilidad de cada pastilla.

Especimen	Porcentaje	Lectura (q) estabilidad	Flujo (mm)
1	5.00%	167	2.17
2	5.00%	167	2.17
3	5.00%	167	2.17
4	5.50%	140	2.43
5	5.50%	160	2.58
6	5.50%	176	2.59
7	6.00%	190	3.03
8	6.00%	206	2.88
9	6.00%	194	3.08
10	6.50%	218	3.21
11	6.50%	225	3.28
12	6.50%	230	3.32
13	7.00%	190	3.38
14	7.00%	210	3.33
15	7.00%	200	3.38
16	7.50%	210	3.57
17	7.50%	180	3.43
18	7.50%	190	3.66

Tabla 4.18. Valores de estabilidad y flujo observados para cada espécimen.

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

$$Fi = A + B(Lc) + C(Lc)^2 + D(Lc)^3$$

Coeficientes	KN
A	0.020376
B	0.043797
C	0.00000585
D	-0.0000000058848

Tabla 4.19. Coeficientes empleados en la fórmula para obtener la estabilidad.

LMiciónA

Ecuación de mejor ajuste para la maquina bajo prueba

$$Fi = A + B(Lc) + C(Lc)^2 + D(Lc)^3$$

Coeficientes	KN
A	2,0376E-02
B	4,3797E-02
C	5,8488E-06
D	-5,8848E-09

Lectura en la Maquina	Valor de la carga aplicada en kN	Valor de la carga aplicada en kgf	Lectura en la Maquina	Val ag
66,0	2,93	299	125,0	
67,0	2,98	304	126,0	
68,0	3,02	308	127,0	

Fig. 4.24. Ecuación de mejor ajuste para la maquina bajo prueba

IC-LMM-053-2013

Donde:
Fi es la fuerza de mejor ajuste que se aplica al equipo bajo prueba, en kN
Lc es la lectura observada en el indicador bajo prueba

Valor de la carga aplicada en kN	Valor de la carga aplicada en kgf	Lectura en la Máquina	Valor de la carga aplicada en kN	Valor de la carga aplicada en kgf
5.57	568	184.0	8.24	846
5.62	573	185.0	8.29	848
5.66	578	186.0	8.33	850
5.71	582	187.0	8.38	854
5.75	587	188.0	8.42	859
5.80	591	189.0	8.47	863
5.84	596	190.0	8.51	868

Fig. 4.25. Datos de la ecuación

Lc= Es el valor de la estabilidad.

Para el caso de 5 % de cemento asfáltico del espécimen 1, sustituyendo en la formula anteriormente descrita resulta:

$$Fi = A + B (Lc) + C (Lc)^2 + D (Lc)^3$$

$$Fi = 0.020376 + 0.043797 (167) + 0.00000585 (167)^2 + -0.0000000058848 (167)^3$$

$$Fi = 7.47 \text{ KN} = 761.74 \text{ Kg}$$

Espécimen	Porcentaje	Altura (cm)	Volumen (cm³)	Factor de corrección	Estabilidad Calculada
1	5.00%	7.6	616.16	0.76	761.74
2	5.00%	7.6	616.16	0.76	761.74
3	5.00%	7.6	616.16	0.76	761.74
4	5.50%	6.6	535.08	0.96	637.36
5	5.50%	6.8	551.30	0.89	729.45
6	5.50%	6.3	510.76	1	803.30
7	6.00%	7.3	591.84	0.81	868.03
8	6.00%	7.2	583.73	0.83	942.14
9	6.00%	7.1	575.62	0.83	886.55
10	6.50%	7.3	591.84	0.81	997.79
11	6.50%	7.4	599.94	0.78	1030.29
12	6.50%	7.1	575.62	0.83	1053.51
13	7.00%	7	567.51	0.86	868.03
14	7.00%	6.5	526.98	0.96	960.68
15	7.00%	6.9	559.41	0.86	914.33
16	7.50%	7.5	608.05	0.78	960.68
17	7.50%	6.8	551.30	0.89	821.78
18	7.50%	7.4	599.94	0.78	868.03

Tabla 4.20. Cálculos del valor de estabilidad de acuerdo a la formula anterior de la maquina a prueba, altura, volumen y factor de corrección para cada espécimen.

Espécimen	Porcentaje	Altura (cm)	Volumen (cm ³)	Factor de corrección	Estabilidad corregida
1	5.00%	7.6	616.16	0.76	578.92
2	5.00%	7.6	616.16	0.76	578.92
3	5.00%	7.6	616.16	0.76	578.92
4	5.50%	6.6	535.08	0.96	611.87
5	5.50%	6.8	551.30	0.89	649.21
6	5.50%	6.3	510.76	1	803.30
7	6.00%	7.3	591.84	0.81	703.11
8	6.00%	7.2	583.73	0.83	781.97
9	6.00%	7.1	575.62	0.83	735.83
10	6.50%	7.3	591.84	0.81	808.21
11	6.50%	7.4	599.94	0.78	803.62
12	6.50%	7.1	575.62	0.83	874.41
13	7.00%	7	567.51	0.86	746.51
14	7.00%	6.5	526.98	0.96	922.26
15	7.00%	6.9	559.41	0.86	786.33
16	7.50%	7.5	608.05	0.78	749.33
17	7.50%	6.8	551.30	0.89	731.39
18	7.50%	7.4	599.94	0.78	677.07

Tabla 4.21. Tabla donde se muestran los valores de estabilidad corregidas de acuerdo a su factor de corrección de cada espécimen.

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.

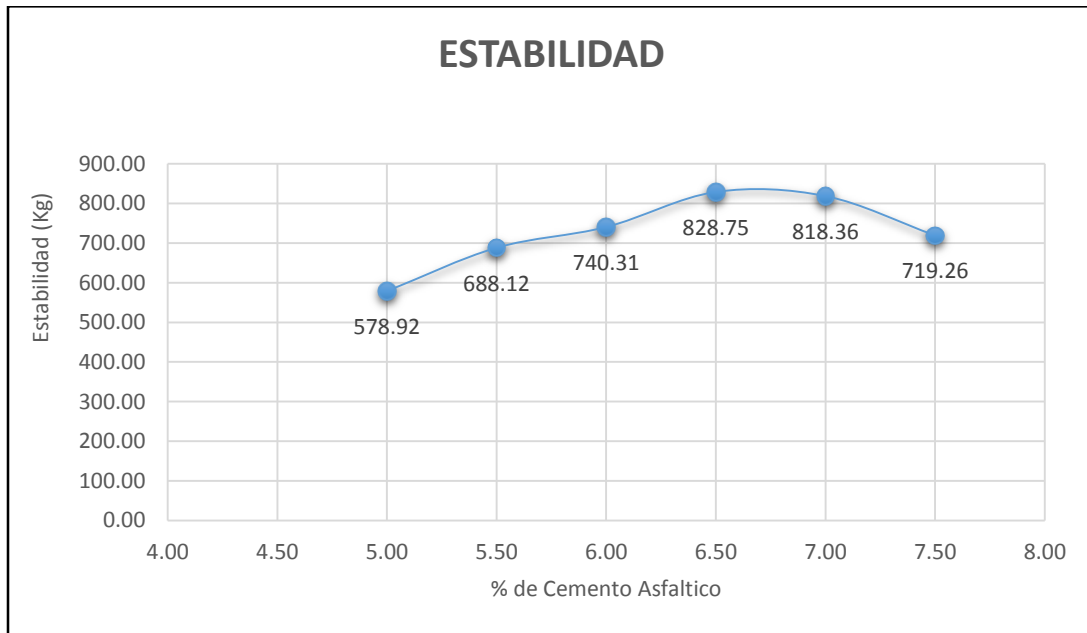
G.- Utilizando el promedio de los valores que no exceden las tolerancias indicadas en el punto anterior, se dibujan las gráficas que a continuación se indican.

- 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.

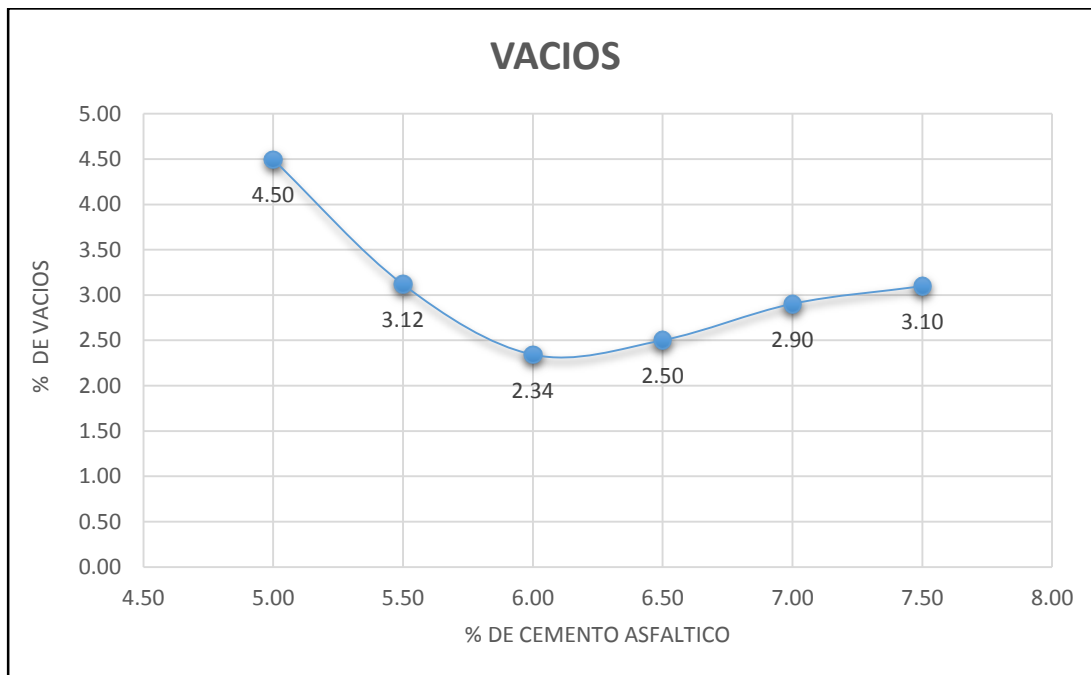
Enseguida se muestran las Gráficas:

- 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.

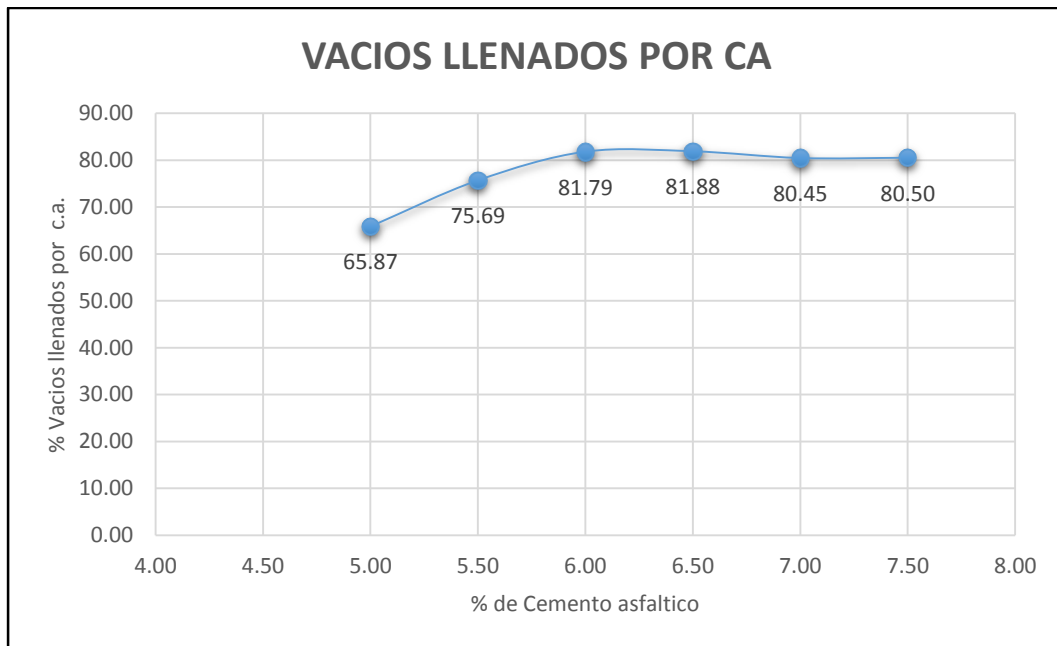
Gráficas



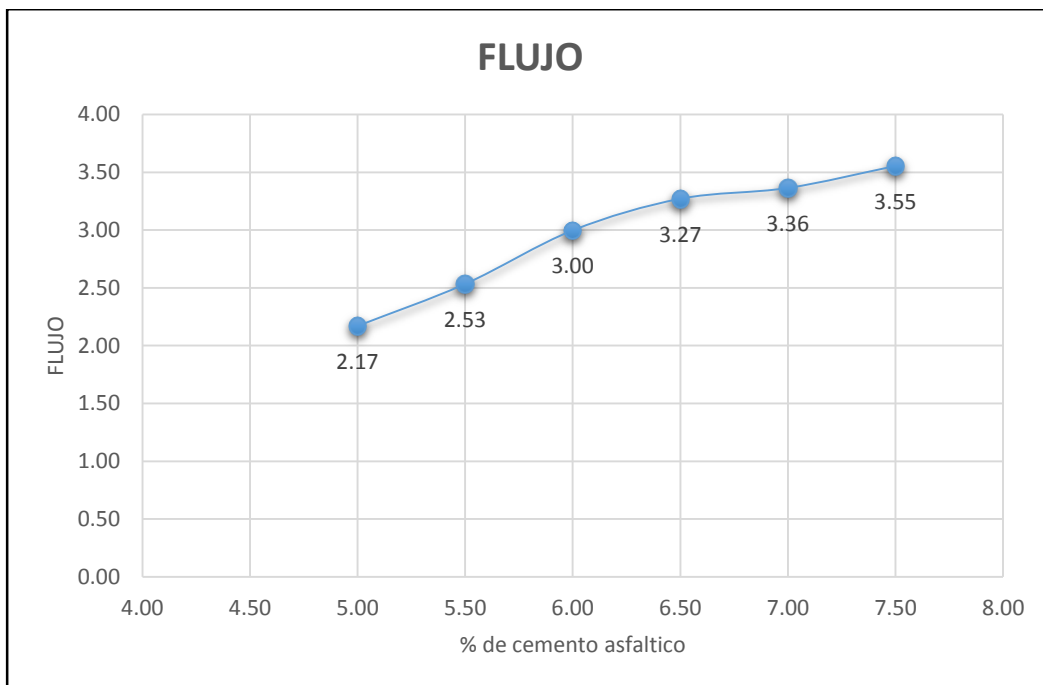
Grafica 1- Estabilidad vs. Contenido de asfalto.



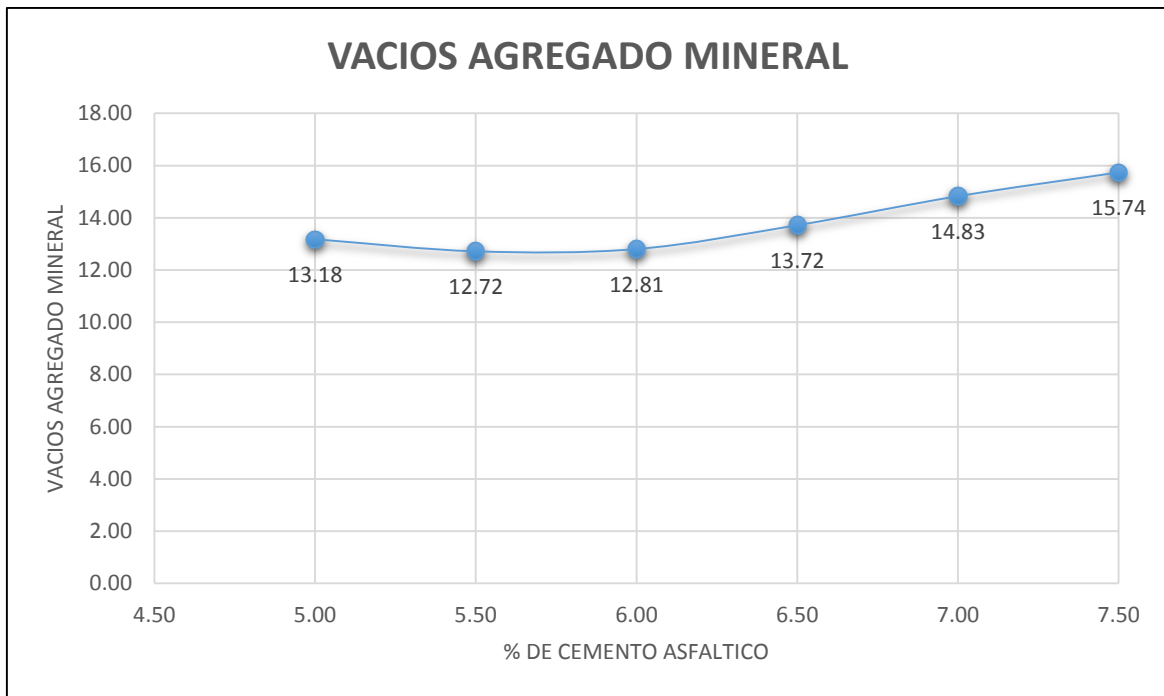
Grafica 2. % de Vacíos vs. Contenido de asfalto.



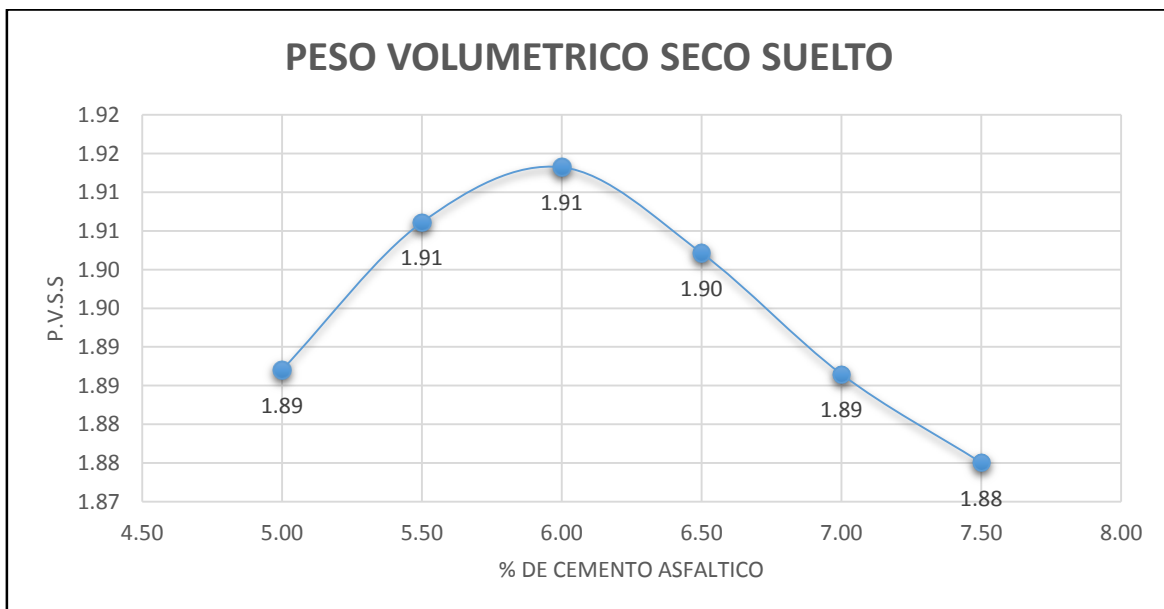
Grafica 3- % de Vacíos llenados por asfalto vs. Contenido de asfalto.



Grafica 4- Flujo vs Contenido de asfalto.

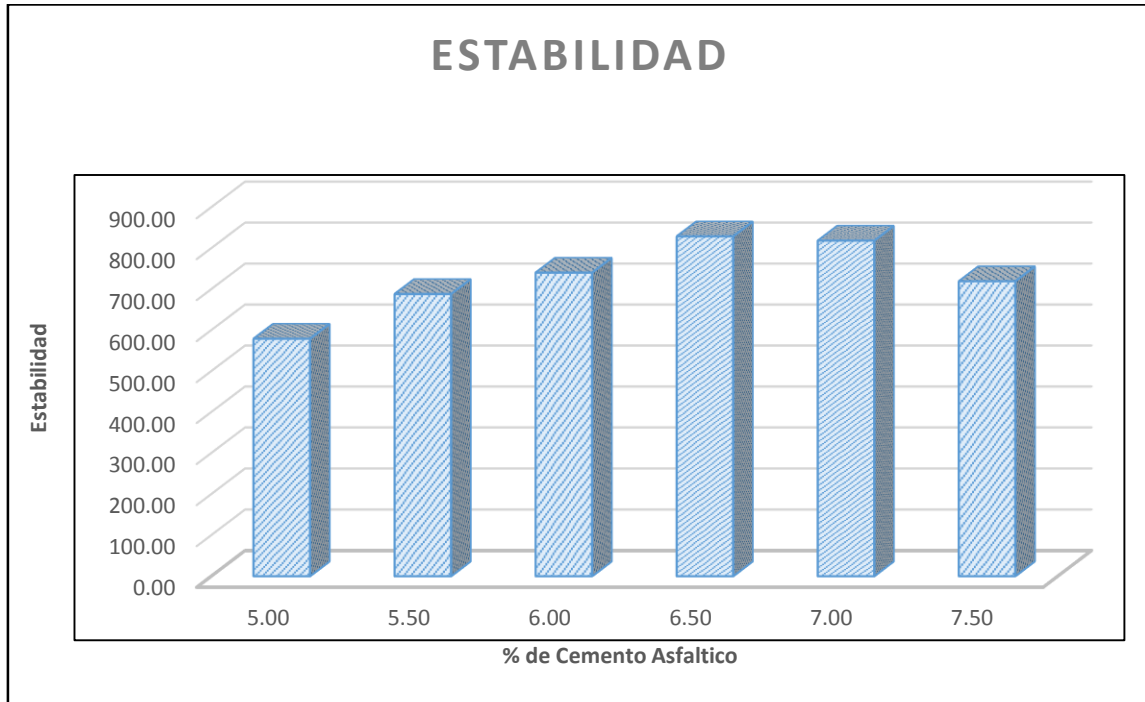


Grafica 5- % de Vacíos de agregado mineral vs Contenido de asfalto.

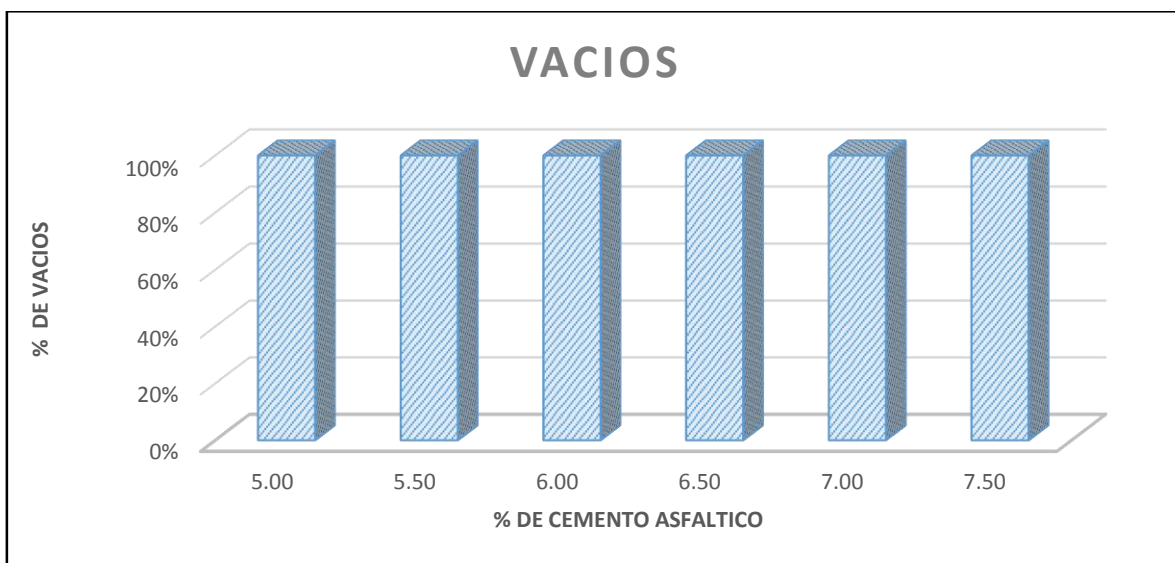


Grafica 6- Peso Volumétrico seco suelto vs Contenido de asfalto.

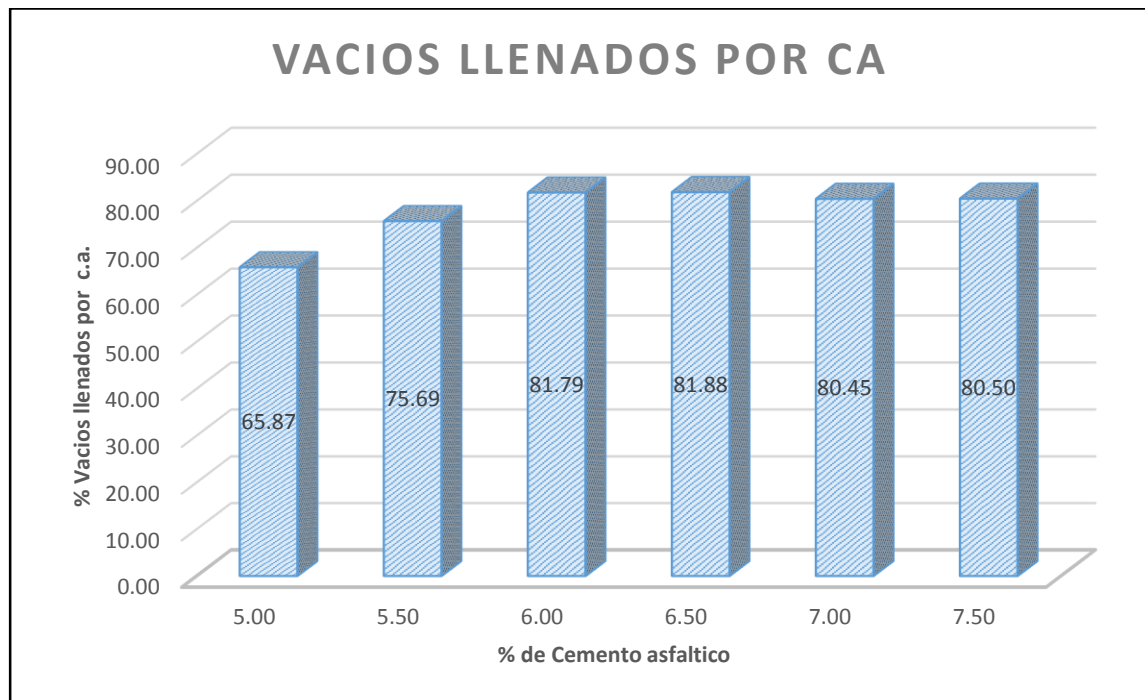
GRAFICAS REPRESENTADAS EN BARRAS.



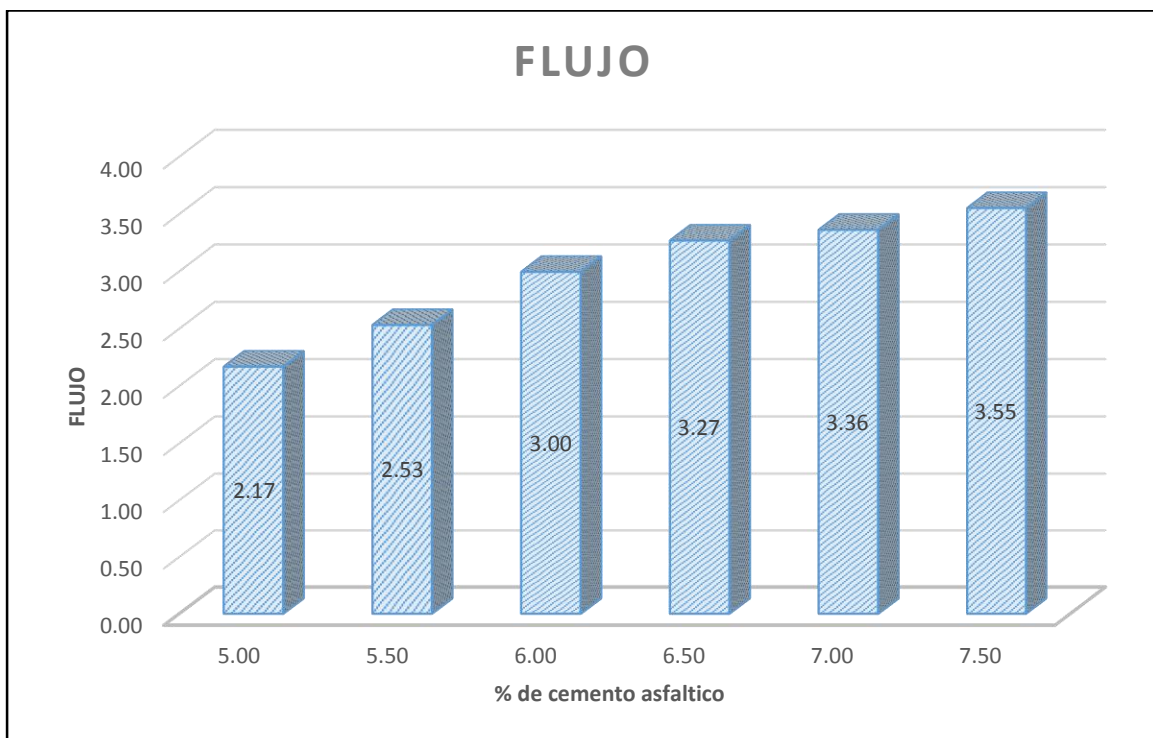
Grafica 1. Estabilidad vs. Contenido de asfalto.



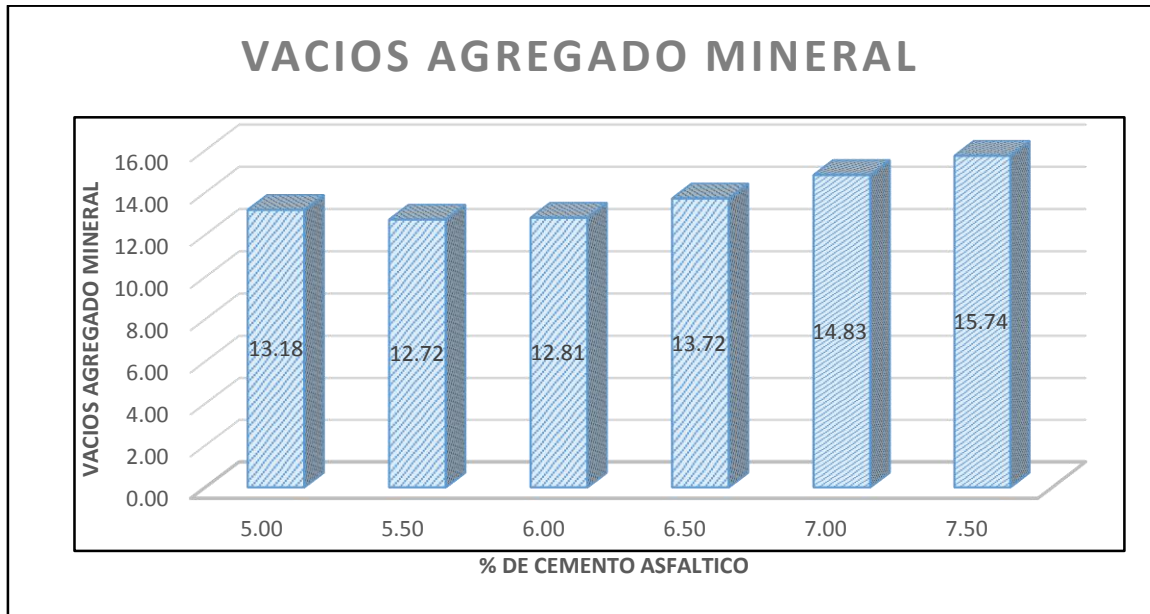
Grafica 2. % de Vacíos vs. Contenido de asfalto.



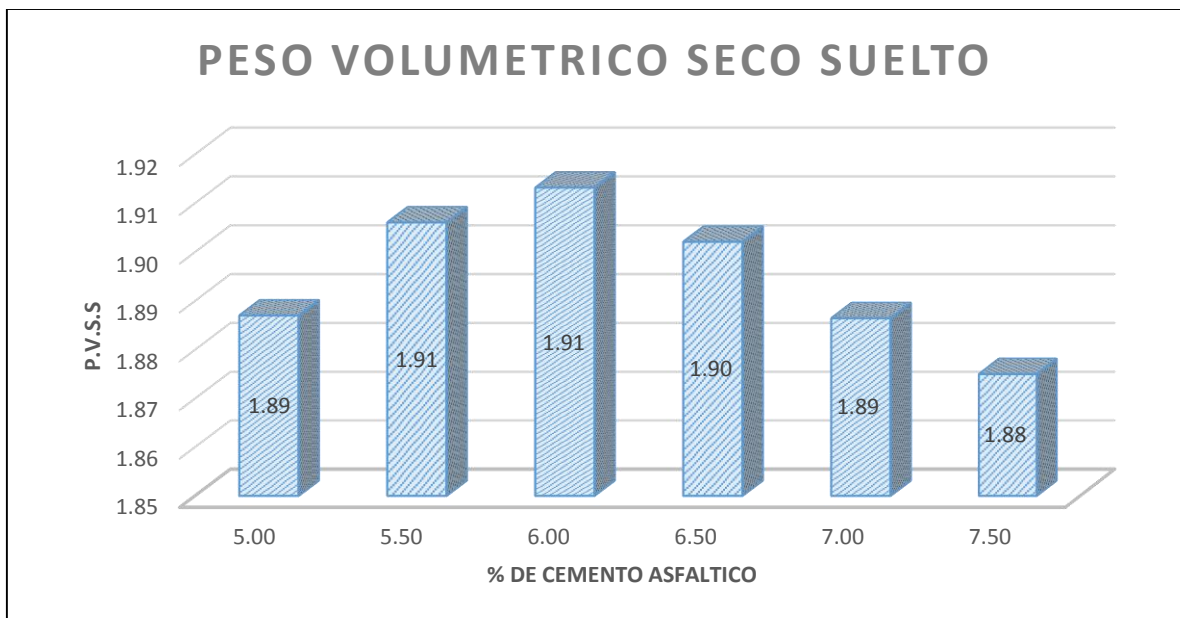
Grafica 3. % de Vacíos llenados por asfalto vs. Contenido de asfalto.



Grafica 4. Flujo vs Contenido de asfalto.



Grafica 5. % de Vacíos de agregado mineral vs Contenido de asfalto.



Grafica 6- Peso Volumétrico seco suelto vs Contenido de asfalto.

Determinación del contenido óptimo

Se ha encontrado que las curvas que representan las propiedades de las mezclas asfálticas de granulometría densa son siempre semejantes unas a otras. Las características que se estudian normalmente son las siguientes:

- La estabilidad, usada en el diseño Marshall, crece con el contenido de asfalto hasta un máximo, después del cual disminuye.
- El flujo, usado en el diseño Marshall, aumenta con contenidos de asfalto crecientes.
- La curva correspondiente a peso específico de la mezcla compacta es análogo a la curva de estabilidad, salvo que en general (pero no siempre) el contenido de asfalto correspondiente al peso específico de la mezcla compacta máximo es ligeramente superior al correspondiente a la estabilidad máxima.
- El porcentaje vacíos en la mezcla compacta disminuye con contenidos crecientes de asfalto, aproximándose finalmente a un mínimo.
- El porcentaje de vacíos llenos con asfalto aumenta con contenidos crecientes de asfalto, aproximándose finalmente a un máximo.

4.9. Interpretación y comparación de resultados

Los resultados obtenidos de mi estudio del material pétreo el banco de material cerro los nogales Ubicado en el municipio de Maravatio, Michoacán. Con coordenadas 19°46'57.81"N 100°26'32.20"O, Altitud 2239 m. Al realizar su estudio me resulto el siguiente concentrado de la siguiente tabla.

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

CONCEPTO	NORMA SCT.
ESTABILIDAD	815.8 Kg Mínimo
FLUJO	2.0 a 3.5 mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %
%V.A.M.	15.0 % Mínimo
P.V.M.	SIN NORMA
%V.A.F.	65 - 75 %

Tabla 4.22. Requisitos SCT

%C.A.	Estabilidad	% de Vacíos	Flujo mm	%V.A.M.	P.V.S.S.	Vacíos llenos por asfalto
5	578.921	4.498	2.170	13.180	1.887	65.872
5.5	688.124	3.118	2.533	12.719	1.906	75.689
6	740.305	2.343	2.997	12.806	1.913	81.794
6.5	828.750	2.502	3.270	13.718	1.902	81.880
7	818.364	2.904	3.363	14.828	1.886	80.445
7.5	719.261	3.099	3.553	15.738	1.875	80.498

Tabla 4.23. Resultados con diferentes porcentajes de Cemento Asfáltico

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 los porcentajes de Cemento Asfáltico de 6.5 y 7%.

En el flujo está dentro del rango que nos pide la norma de 2 a 3.5 mm para nuestro estudio en los porcentajes de Cemento asfáltico de 5 hasta el 7%.

El % de vacíos está dentro del rango que nos pide la norma de 3 a 5 % para nuestro estudio en los porcentajes de Cemento asfáltico de 7.5%.

El % de V.A.M. está dentro del rango que nos pide la norma de 15 % mínimo para nuestro estudio en los porcentajes de Cemento asfáltico de 7.5% y en 6.5%.

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 dentro del rango que nos pide la norma de 65 % a 75% para nuestro estudio en los porcentajes de Cemento asfáltico de 5% y 5.5%.

De acuerdo a los resultados obtenidos nuestro contenido optimo es del porcentaje de 6.5 %, que es el más indicado por cumplir con la mayoría de los requisitos que nos marca la SCT- N-CMT-4-05-003/08 para un numero de ejes equivalentes mayor de un millón y menor a diez millones de ejes equivalentes.

CAPITULO 5:
SUSTITUCIÓN DE
AGREGADOS
FINOS POR
CEMENTO
PORTLAND

5.1. Cemento Portland

La palabra cemento es nombre de varias sustancias adhesivas. Deriva del latín caementum, porque los romanos llamaban opus caementitium (obra cementicia) a la grava y a diversos materiales parecidos al concepto que usaban en sus morteros, aunque no eran la sustancia que los unía.

El Cemento Hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado, que al agregarle agua, ya sea solo o mezclado con arena, grava asbesto u otros materiales, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que, una vez endurecido, desarrolla su resistencia y conserva su estabilidad.

5.2. Antecedentes del cemento

El origen del cemento es tan antiguo, como la humanidad ya que la necesidad que ha tenido el hombre de construir su propio hábitat, así como las estructuras necesarias para su progreso, ha constituido el factor principal en la búsqueda de materiales para esta finalidad. Su nombre primitivo, o mejor dicho su origen viene de la ceniza calcinada, el cual era observado porque en la noche el hombre armaba fuegos, al quedar la ceniza calcinada y mezclada con la lluvia nocturna, se endurecía. La cal común se obtiene al calcinar la piedra caliza, la diferencia entre la cal común y la cal hidráulica radica en que la cal común se endurece en presencia de CO contenido en el aire y por lo tanto no puede ocurrir bajo el agua; la cal hidráulica por proceder de calizas impuras, se endurece por la reacción que se produce entre los elementos constitutivos, lo cual permite que su fraguado pueda darse bajo agua; de ahí procede el nombre de cal hidráulica. Los egipcios usaron el yeso además de la cal. Tanto los romanos como los griegos mezclaban cal con cenizas volcánicas o con tejas de arcillas quemadas, obteniendo un material de condiciones muy superiores a los de la cal común. La sílice activa y la alúmina que se encuentran en las cenizas y en las tejas con la cal para producir lo que es conocido como cemento puzolánico, proveniente del nombre de Puzzuoli ciudad que queda en el Golfo de Nápoles, Italia, cerca del Vesubio. En este sitio los Romanos extraían el material volcánico que mezclaban con la cal, estos utilizaron éste cemento para construir el Coliseo de Roma y el Pont du Gard. Los griegos obtenían estos materiales en la Isla Santorin. En la edad media hubo una disminución general en la calidad y uso del cemento. En 1756 John Smeaton encontró que el mejor mortero se obtenía cuando se mezclaba puzolana con caliza que contenía una alta cantidad de material arcilloso, Smeaton fue el primero en conocer las propiedades químicas de la cal hidráulica. Posteriormente en 1824, Jhosep Aspin conoció los estudios de Smeaton y continuo las investigaciones llegando a obtener un material que al mezclarlo con el agua reaccionaba dando lugar al endurecimiento de la pasta producida.

Este material endurecido presentaba un aspecto similar al de unas piedras de construcción extraídas en Inglaterra, en la localidad de Portland. El prototipo del cemento moderno fue obtenido en 1845 por Isaac Johnson, quien quemo una mezcla de arcilla y caliza hasta la formación del Clinker. En general el cemento portland, concebido originalmente por la semejanza de color y calidad entre el cemento fraguado y la piedra de portland, éste cemento se ha conservado en nuestros días para describir un cemento obtenido en la mezcla minuciosa

de materiales calcáreos y arcillosos y otros materiales que contienen sílice, alúmina y quemándolos a una temperatura da la formación del Clinker.

En 1860-1880 Le Chatelier investigo acerca del peso específico del cemento, Vicat acerca del fraguado, Abrahams acerca de la relación agua cemento, en USA se encuentra la PCA (asociación de Cemento Portland), en Suiza se encuentra las casas de aditivos (Sika y Toxement). En México tenemos las cementeras: Cemex, Apasco, Cementos Cruz Azul, Moctezuma, Anáhuac, Grupo Cementos de Chihuahua, entre otras.

5.3. Fabricación

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con agua para formar una pasta endurecida. Los componentes básicos para la fabricación del cemento portland son el óxido de calcio, óxido de sílice, alúmina y el óxido de hierro. La materia prima necesaria para tener las cantidades correctas de los componentes básicos es una mezcla de materiales calcáreos (piedra caliza) y arcillosos.

Cuando se está fabricando el cemento se les agregan otras adiciones (cenizas volcánicas, puzolanas, escorias de alto horno), que cumplen con diferentes funciones especiales. Estas materias primas se someten a un proceso de clinkerización (a altas temperaturas), todo esto va a producir un polvo gris oscuro, que fragua muy rápidamente con el agua, al finalizar este proceso se le adiciona yeso con el fin de retardar el tiempo de fraguado.

Este proceso se lleva a cabo mediante una serie de etapas:

5.3.1. Explotación de materias primas:

Consiste en la extracción de las piedras calizas y las arcillas de los depósitos o canteras, las cuales dependiendo de sus condiciones físicas se hacen los diferentes sistemas de explotación, luego el material se transporta a la fábrica.

5.3.2. Preparación y clasificación de las materias primas:

Una vez extraídos los materiales, en la fábrica se reduce el tamaño de la caliza siguiendo ciertas especificaciones dada para la fabricación. Su tamaño se reduce con la trituración hasta que su tamaño oscile entre 5 a 10mm.

5.3.3. Homogenización:

Consiste en hacer mezcla de las arcillas y calizas, que ya han sido trituradas, se lleva por medio de bandas transportadoras o molinos, con el objetivo de reducir su tamaño hasta el orden de diámetro de medio milímetro. En ésta etapa se establece la primera gran diferencia de los sistemas de producción del cemento, (procesos húmedos y procesos secos).

5.3.4. Clinkerizacion:

Consiste en llevar la mezcla homogeneizada a hornos rotatorios a grandes temperaturas aproximadamente a 1450°C, en la parte final del horno se produce la fusión de varios de los componentes y se forman gránulos de 1 a 3 cm de diámetro, conocido con el nombre de Clinker.

5.3.5. Enfriamiento:

Después que ocurre el proceso de clinkerización a altas temperaturas, viene el proceso de enfriamiento en la cual consiste en una disminución de la temperatura para poder trabajar con el material, éste enfriamiento se acelera con equipos especializados.

5.3.6. Adiciones finales y molienda:

Una vez que el Clinker se halla enfriado, se prosigue a obtener la finura del cemento, en la cual consiste en moler el Clinker, después se le adiciona yeso con el fin de retardar el tiempo de fraguado.

5.3.7. Empaque y distribución:

Esta última etapa consiste en empacar el cemento fabricado en bolsas de 50 kilo, teniendo mucho cuidado con diversos factores que puedan afectar la calidad del cemento, luego se transporta y se distribuye con cuidados espe

5.4. Clasificación de los cementos

La clasificación de los diferentes tipos de cemento de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE se muestra en la tabla 5.1. Así como la clasificación de acuerdo a la clase resistente y características especiales, también estipuladas en la misma norma descritas en la tabla 5.2.

Tipo	Denominación	Descripción
CPO	Cemento Portland Ordinario	Es el cemento producido a base de la molienda de Clinker Portland y usualmente sulfato de calcio.
CPP	Cemento Portland Puzolánico	Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker Portland, materiales puzolánicos y usualmente sulfato de calcio.
CPC	Cemento Portland Compuesto	Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker Portland, usualmente sulfato de calcio y una mezcla de materiales puzolánicos, escoria de alto horno y caliza. En el caso de la caliza, este puede ser el único componente.
CPS	Cemento Portland con humo de sílice	Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker Portland, humo de sílice y usualmente sulfato de calcio.
CEG	Cemento con escoria granulada de alto horno	Es el conglomerante hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker Portland y mayoritariamente escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.

Tabla 5.1. Clasificación de los diferentes tipos de cemento

Tipo	Clase resistente	Características especiales
CPO	20	RS Resistente a los Sulfatos
CPP	30	BRA Baja Reactividad Álcali agregado
CPEG	30R	BCH Bajo Calor de Hidratación
CPC	40	B Blanco
CPS	40R	-
CEG	-	-

Tabla 5.2. Clasificación de los cementos de acuerdo a la clase resistente y características especiales

Para indicar que un tipo de cemento debe cumplir con una resistencia inicial especificada, se le agrega la letra R después de la clase. Solo se definen valores de resistencia inicial a 30R y 40R.

5.5. Especificaciones físicas y mecánicas

Las especificaciones mecánicas y físicas del cemento como, resistencia a la compresión según la norma mexicana NMX-C-061-ONNCCE, tiempo de fraguado de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-059-ONNCCE y estabilidad de volumen, según la norma mexicana NMX-C-062-ONNCCE se describen en la tabla

Clase resistente	Resistencia a la compresión (N/mm ²)			Tiempo de fraguado (min)		Estabilidad de volumen en autoclave (%)	
	3 días	28 días		Inicial	Final	Inicial	Final
	Mínimo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
20	-	20	40	45	600	0.8	0.2
30	-	30	50	45	600	0.8	0.2
30R	20	30	50	45	600	0.8	0.2
40	-	40	-	45	600	0.8	0.2
40R	30	40	-	45	600	0.8	0.2

Tabla 5.3. Resistencia a la compresión, tiempo de fraguado y estabilidad de volumen.

5.6. Mezclas asfálticas adicionadas con cemento.

Los fillers son sustancias finamente divididas las cuales son insolubles en asfalto pero que pueden ser dispersadas en él, como un medio de modificar sus propiedades mecánicas y consistencia. Usualmente sus sustancias minerales; materiales orgánicos tales como madera o corcho, raramente se utilizan.

Típicos fillers minerales: cal, cemento, polvo de tiza, cenizas de combustible pulverizada, talco, sílice, etc. El efecto general de la adicción de fillers es endurecer el asfalto. En términos prácticos significa que existirá una reducción en su deformación o fluencia producida por una carga, un incremento en su punto de ablandamiento, una reducción de su penetración y un incremento en el stiffness.

La propiedad de endurecimiento o stiffness depende de la cantidad de filler agregado o del tamaño de la partícula así como de la forma de la misma. Fillers tales como polvo de tiza producen un efecto menor. Para fillers normales, el efecto del filler sobre la penetración y el punto de ablandamiento del asfalto es proporcional a la concentración del filler para concentraciones de hasta un 40% del filler/asfalto. Para fillers tipo fibra, el límite es menor a 40%. Mezclas de asfalto/filler deben mantenerse en proceso de mezcla inmediatamente de su utilización para prevenir la sedimentación del filler.

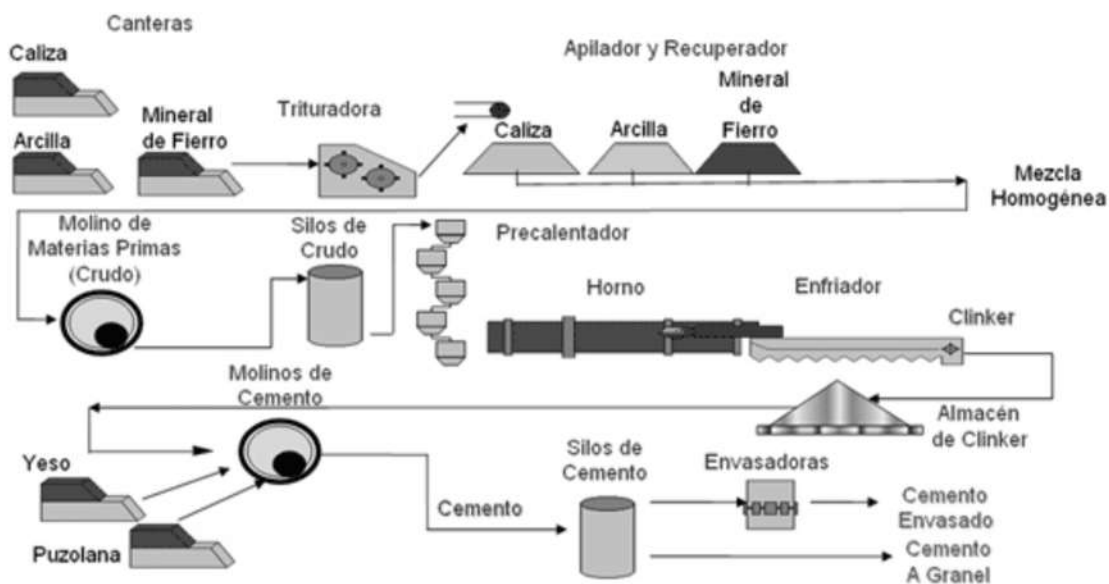


Fig. 5.1. Proceso de producción del cemento

5.6.1. La cal y el cemento.

La cal hidratada y el cemento han sido utilizados en las mezclas asfálticas en los Estados Unidos desde 1910.

Los beneficios de adicionar estos materiales en las mezclas asfálticas son:

- Reduce el daño por humedad y stripping debido a la sensibilidad a la humedad de los agregados pétreos.
- Reduce el contenido de asfalto de diseño u óptimo.
- Tiene un mayor poder espesante, particularmente importante para obtener un elevado cuerpo de película de ligante y para mejorar de adherencia.
- Mejora la rugosidad y la resistencia a la fatiga a bajas temperaturas.
- Reduce el envejecimiento del ligante asfáltico.
- Incrementa la estabilidad y la durabilidad de la mezcla.

5.6.2. Cemento Portland en sustitución de finos

El cemento Pórtland es empleado como “filler” de aporte en las mezclas asfálticas en caliente. En general, las condiciones de calidad de tales mezclas pueden resumirse en tres: estabilidad, flexibilidad y durabilidad, en las cuales el cemento gravita significativamente, cumpliendo tres funciones principales: actuando como material de relleno de vacíos, como espesante de asfalto o mejorando la adherencia del par agregado –asfalto.



Fig. 5.2. Empleo de cemento portland en el ensaye Marshall.

5.7. Metodología experimental

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 6.5 %, en todos los especímenes. En este caso particular se realizaron 9 especímenes, 9 con parafina (tres con el 0.5 % de Cemento Portland y 3 con el 1% de Cemento Portland y 3 sin cemento portland).

Para esta aplicación de Cemento Portland, se utilizara solo el Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico que resulto de 6.5 % para todos los especímenes.

En este caso se realizaron 9 especímenes, 3 para cada porcentaje de Cemento Portland, volviendo hacer el óptimo sin Cemento Portland. Cabe recordar que en el % que pasa la malla N° 200 se debe sustituir por Cemento en diferentes porcentajes, que son 0.5 y 1%.

MALLA N°	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO
Pasa N° 200	24.5	2.58

Para nuestro caso de realizaron 9 especímenes.

3 con el 0.5% de cemento portland y 2.08 % que pasa malla N° 200

Descripción	%	Peso en gramos
% que pasa malla N° 200	2.08	19.76
% Cemento Portland	0.5	4.75

3 con el 1 % de cemento portland y 1.58 % que pasa malla N° 200

Descripción	%	Peso en gramos
% que pasa malla N° 200	1.58	15.01
% Cemento Portland	1.0	9.5

3 sin cemento portland para hacer la comparación

Descripción	%	Peso en gramos
% que pasa malla N° 200	2.58	24.51
% Cemento Portland	0	0

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.

MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
1" 1/2	37.5	-----	-----	-----	100
1"	25	21.0	2.21	2.21	97.79
3/4"	19	127.6	13.43	15.64	84.36
1/2"	12.5	162.9	17.14	32.79	67.21
3/8"	9.5	103.8	10.93	43.71	56.29
1/4 "	6.3	124.2	13.07	56.79	43.21
N° 4	4.75	71.3	7.50	64.29	35.71
Pasa N° 4		339.3	35.71	100.00	-----
Suma		950	100.000		

Tabla 5.1. Material grueso para cada ensaye.

MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA
10	2	144.5	15.21	15.21	20.50
20	0.85	76.0	8.00	23.21	12.50
40	0.425	42.1	4.43	27.64	8.07
60	0.25	15.6	1.64	29.28	6.43
100	0.15	19.6	2.06	31.34	4.37
200	0.075	17.0	1.79	33.13	2.58
Pasa N° 200		24.5	2.58	35.71	0.00
Suma		339.3	35.71		

Tabla 5.2. Composición granulométrica que deberá tener el material pétreo en cada pastilla.

Materiales:

Sin lugar a duda el éxito de la preparación con las necesidades requeridas, se debe a la elaboración de un proporcionamiento adecuado, junto con la elección de materiales los cuales satisfagan los requerimientos de las normas ya establecidas y mencionadas en el capítulo anterior, debido a esto es fundamental realizar una caracterización de los materiales utilizados en la investigación. El cual servirá de manera general el punto inicial para la elaboración de las probetas de ensayo.

Cemento portland compuesto (cpc)

Es el cemento que resulta de la integración de clinker, Portland, sulfato de calcio y una mezcla de materiales puzolánicos, escoria de alto horno y caliza. En el caso de la caliza, este puede ser componente único.

Para la elaboración de las probetas de ensayo se utilizó Cemento Portland Compuesto Clase 30 de resistencia Rápida (CPC 30 R). Este cemento corresponde a la clasificación de CPC (Cemento Portland Compuesto), de la marca CEMEX. El cual cumple ampliamente con los requisitos de calidad estipulados por la norma mexicana del cemento NMX-C-414-ONNCCE-2004.

Preparación de los especímenes

La mezcla de agregados se seca en horno durante 24 horas a una temperatura de 110 °C. Dos horas antes de iniciar la preparación de la mezcla asfáltica, el agregado se calienta en el horno, a una temperatura de 170 °C; 20 °C mayor que la temperatura de mezclado, que es equivalente a la temperatura que pierde el agregado al sacarlo del horno y vaciar el asfalto. El asfalto es calentado a la temperatura de mezclado (150°C), debe cuidarse que el asfalto no se caliente por más de una hora para evitar el envejecimiento del mismo. Así también, es necesario que los moldes Marshall sean calentados en el horno a la temperatura de compactación por un tiempo de 30 a 60 minutos. Cuando los materiales alcanzan las temperaturas deseadas, se prepara el agregado para recibir el cemento asfáltico, haciendo una especie de cráter en donde se dosifica el asfalto en peso respecto al agregado pétreo y se mezcla hasta que todas las partículas estén cubiertas por asfalto. En el momento de mezclado debe de cuidarse que la mezcla no pierda temperatura.

Compactación

En la compactación de la mezcla asfáltica caliente se utilizó el martillo de impacto para las probetas Marshall. La compactación Marshall solo requiere de la determinación del número de golpes por cara.

Método	Energía de compactación
Marshall	75 golpes por cara



Fig. 5.3. Agregado pétreo, moldes y utensilios en horno

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.

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.



Fig. 5.4. material pétreo



Fig. 5.5. Cemento portland en mezcla

5.7.1 Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall

Mezcla asfáltica de granulometría densa diseñada por el método Marshall

Las mezclas asfálticas diseñadas mediante el procedimiento descrito en el Manual M·MMP·4·05·031, Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa, de acuerdo con el tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de ocho comados (8,2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL), cumplirán con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 1 y con el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) indicado en la Tabla 2 de esta Norma, en función del tamaño nominal del material pétreo utilizado en la mezcla.

TABLA 1.- Requisitos de calidad para mezclas de granulometría densa, diseñadas mediante el método Marshall

Características	Número de ejes equivalentes de diseño ΣL ^[1]	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$ ^[2]
Compactación; número de golpes en cada cara de la probeta	50	75
Estabilidad; N (lbf), mínimo	5 340 (1 200)	8 000 (1 800)
Flujo; mm (10-2 in)	2 - 4 (8 - 16)	2 - 3,5 (8 - 14)
Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC); %	3--5	3--5
Vacíos ocupados por el asfalto (VFA); %	65 - 78	65 - 75

[1] ΣL = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante la vida útil del pavimento.

[2] Para tránsitos mayores de 107 ejes equivalentes de 8,2 t, se requiere un diseño especial de la mezcla.

D.1.1.3. Material fino (filler)

Cuando se requiera un material fino (filler) para lograr la granulometría del material pétreo establecida en la Cláusula D. de la Norma N·CMT·4·04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, se puede utilizar cemento Portland o cal, lo que también acelerará la estabilidad de la mezcla y mejorará la afinidad entre el material asfáltico y los materiales pétreos; el contenido de filler no será mayor que el porcentaje máximo de material que pasa la malla N°200, indicado en la Cláusula mencionada.



Fig. 5.6. Probetas del diseño Marshall



Fig. 5.7. Impermeabilizando cada pastilla

A continuación se muestran las Tablas donde se mencionan el peso de las pastillas en el aire con el 0.5 % y 1 % de Cemento Portland, obteniendo lo siguiente:

Peso de las pastillas en el aire	
Con 0.5% Cemento Portland	
Espécimen	Peso (gr)
1	960
2	983
3	991

Tabla 5.3. Peso pastillas en el aire con 0.5 % Cemento Portland.

Peso de las pastillas en el aire	
Con 1.0 % Cemento Portland	
Espécimen	Peso (gr)
4	971
5	993
6	1006

Tabla 5.4. Peso pastillas en el aire con 1.0 % Cemento Portland.

ENSAYE	% C.A. OPTIMO	Espécimen + parafina en agua
1	6.5	425
2	6.5	435.5
3	6.5	444.1
4	6.5	453
5	6.5	466
6	6.5	471

Tabla 5.5. Peso del Espécimen más parafina en agua

ENSAYE	% C.A. CALCULADO	Altura del Espécimen (cts.)	Factor de Corrección	Flujo en MM	Lectura Maquina (q) estabilidad
1	6.5	7	0.86	2.54	210
2	6.5	7.2	0.83	2.72	230
3	6.5	6.7	0.90	2.59	200
4	6.5	7.2	0.83	2.15	310
5	6.5	7.1	0.83	2.09	320
6	6.5	7.3	0.81	2.78	280

Tabla 5.6. Altura, factor de corrección, Lectura del flujo y estabilidad de cada muestra.

ENSAYE	% C.A. CALCULADO	Lectura Maquina (q) estabilidad	Factor de Corrección	Estabilidad en KN	Estabilidad en Kg	Estabilidad corregida Kg
1	6.5	210	0.86	9.421	960.683	826.187
2	6.5	230	0.83	10.332	1053.508	874.412
3	6.5	200	0.90	8.967	914.334	822.901
4	6.5	310	0.83	13.984	1425.981	1183.564
5	6.5	320	0.83	14.442	1472.612	1222.268
6	6.5	280	0.81	12.613	1286.147	1041.779

Tabla 5.7. Estabilidad corregida de cada muestra.



Fig. 5.8. Probetas del diseño Marshall impermeabilizadas



Fig. 5.9. Pesando muestras.



Fig. 5.10. Acondicionamiento de probetas a 60°C



Fig. 5.11. Fin de la prueba.

5.8. INTERPRETACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

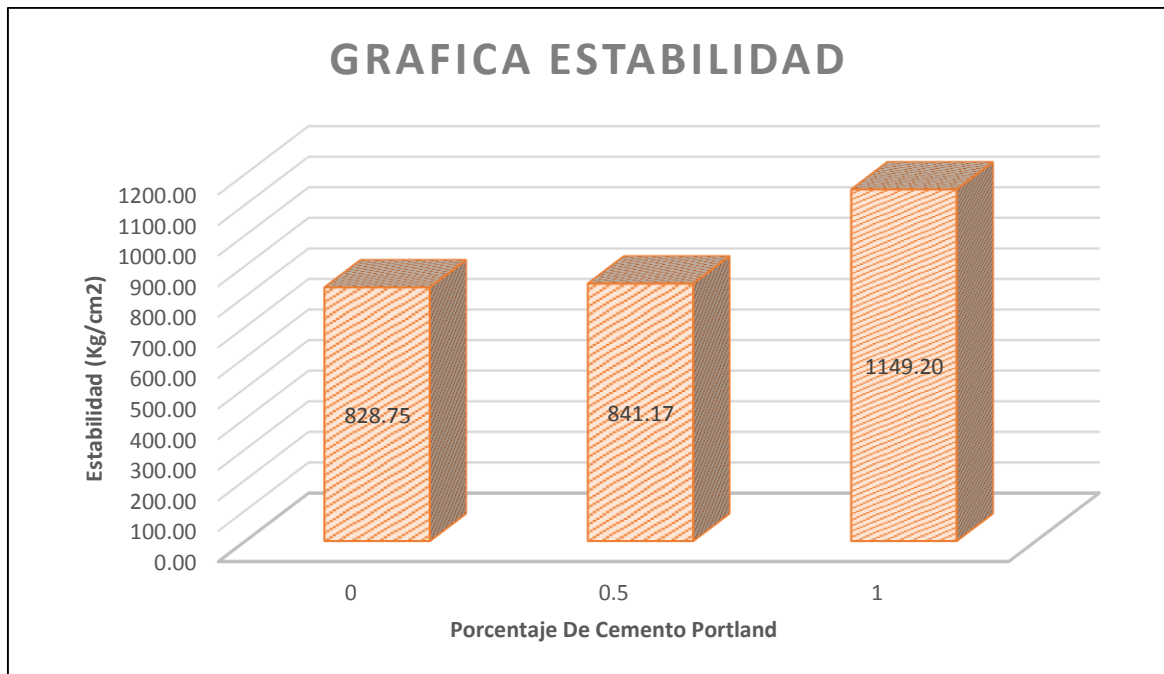
A continuación se muestra la tabla donde obtenemos los resultados de la prueba, así como también las gráficas.

%C.P	Estabilidad	% de Vacíos	Flujo mm	% V.A.M.	PVSS	VPA
0	828.750	2.500	3.270	13.720	1.900	81.880
0.5	841.167	4.387	2.617	15.387	1.865	71.536
1	1149.204	3.780	2.340	14.850	1.877	74.557

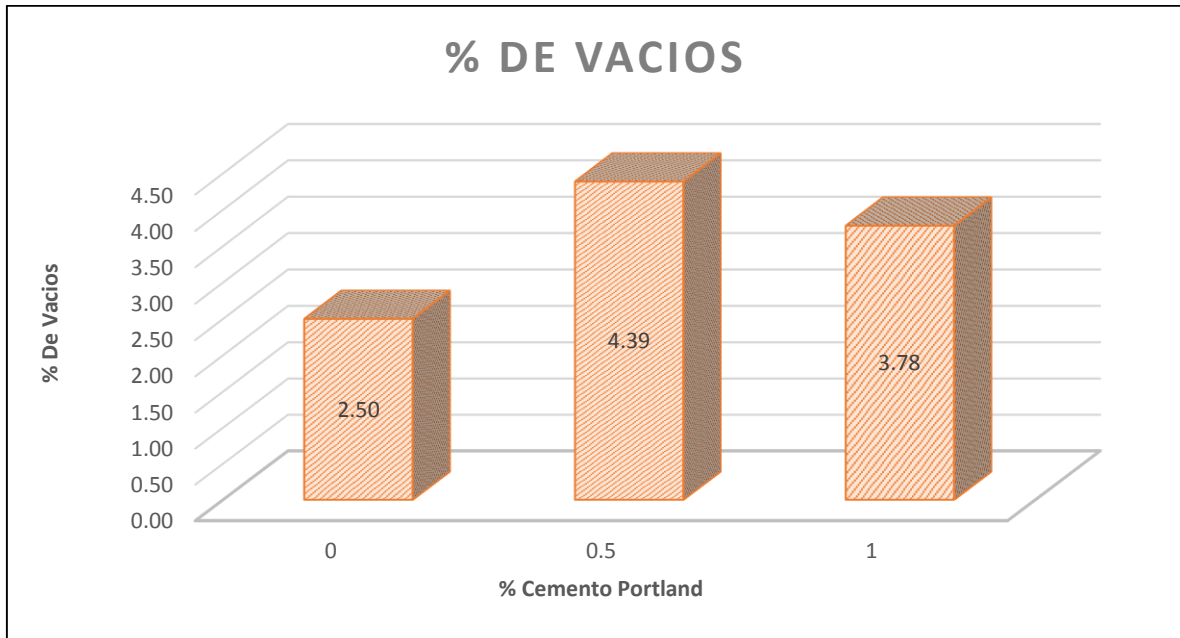
Tabla 5.8. Resultados de la prueba.

Enseguida se muestran las gráficas con el contenido de cemento asfáltico, de 6.5 siendo este el óptimo, junto con el porcentaje de Cemento Portland antes mencionado.

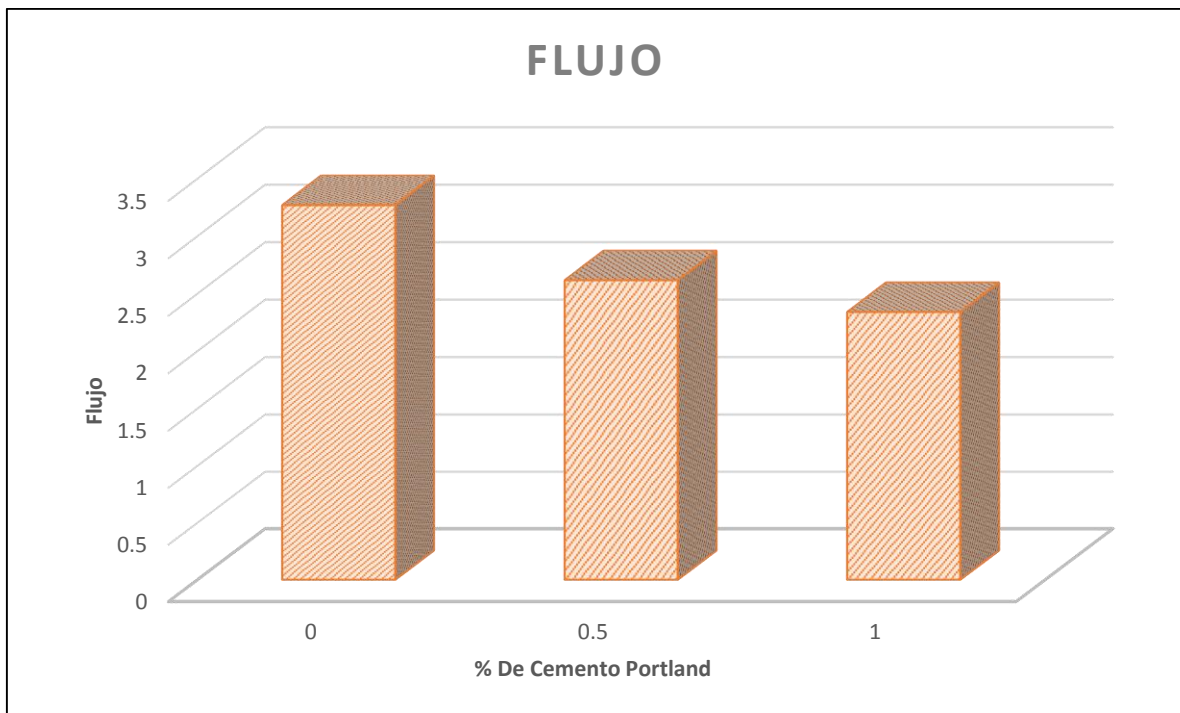
- Peso Volumétrico vs. Contenido de Cemento portland
- Por ciento de vacíos del material pétreo vs. Contenido de Cemento portland
- Por ciento de vacíos de la muestra compactada vs. Contenido de Cemento portland
- Estabilidad vs. Contenido de Cemento portland
- Flujo vs. Contenido de Cemento portland.



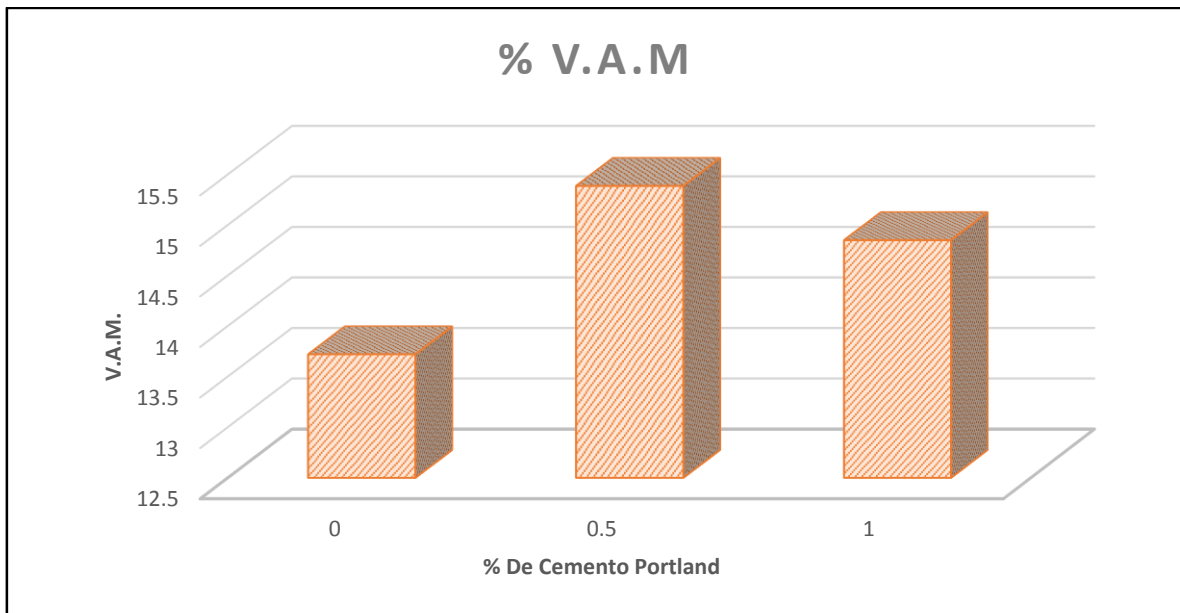
Grafica 1- Representación gráfica de Estabilidad usando diferentes porcentajes de Cemento Portland partiendo del contenido óptimo de Cemento Asfáltico



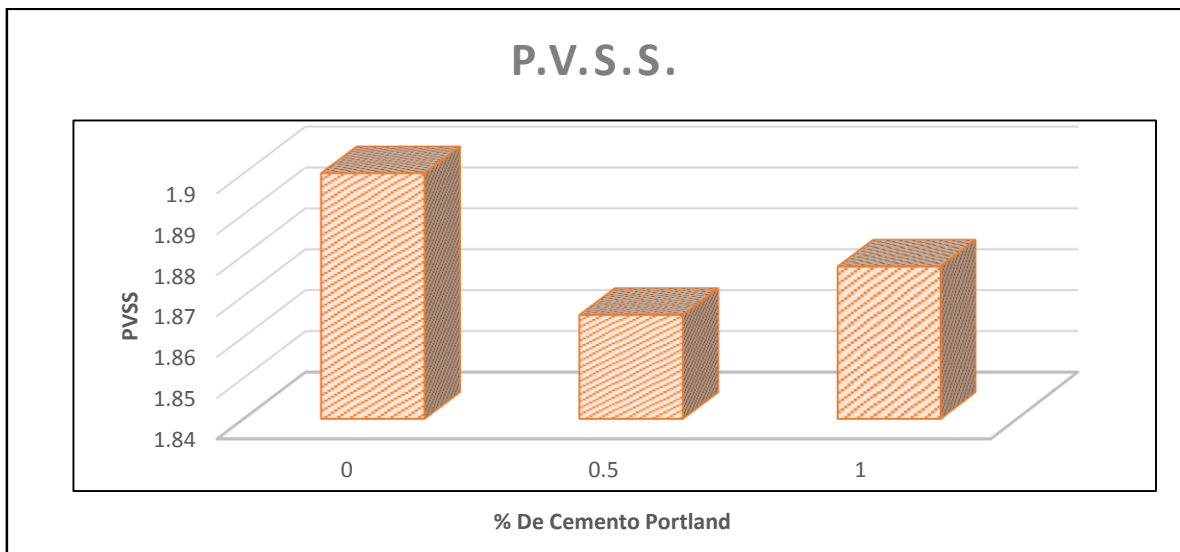
Grafica 2- Representación gráfica del porcentaje de vacíos de aire usando diferentes porcentajes de Cemento Portland partiendo del contenido óptimo de Cemento Asfáltico



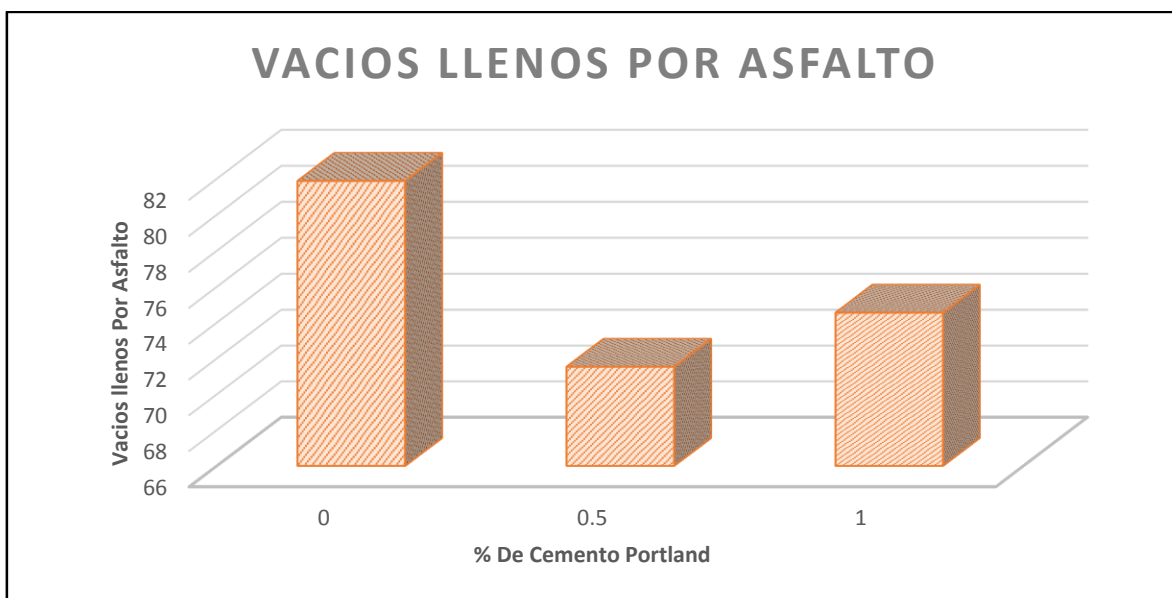
Grafica 3.- Representación gráfica del flujo usando diferentes porcentajes de Cemento Portland partiendo del contenido óptimo de Cemento Asfáltico.



Grafica 4.- Representación gráfica del porcentaje de vacíos de agregado mineral usando diferentes porcentajes de Cemento Portland partiendo del contenido óptimo de Cemento Asfáltico



Grafica 5.- Representación gráfica del P.V.S.S. usando diferentes porcentajes de Cemento Portland partiendo del contenido óptimo de Cemento Asfáltico



Grafica 6.- Representación gráfica del porcentaje de vacíos llenos por asfalto usando diferentes porcentajes de Cemento Portland partiendo del contenido óptimo de Cemento Asfáltico.

%C.A.	Estabilidad	% de Vacíos	Flujo mm	% V.A.M.	PVSS	VACIOS LLENOS POR ASFALTO
5	578.921	4.498	2.170	13.180	1.887	65.872
5.5	688.124	3.118	2.533	12.719	1.906	75.689
6	740.305	2.343	2.997	12.806	1.913	81.794
6.5	828.750	2.502	3.270	13.718	1.902	81.880
7	818.364	2.904	3.363	14.828	1.886	80.445
7.5	719.261	3.099	3.553	15.738	1.875	80.498

Tabla 5.9. Resultados mezcla convencional.

%C.P	Estabilidad	% de Vacíos	Flujo mm	% V.A.M.	PVSS	VPA
0	828.750	2.500	3.270	13.720	1.900	81.880
0.5	841.167	4.387	2.617	15.387	1.865	71.536
1	1149.204	3.780	2.340	14.850	1.877	74.557

Tabla 5.10. Resultados usando Cemento Portland.

Usando 6.5 % C.A.	% Cemento Portland empleado		Aumento o disminuyo respecto mezcla Convencional	Observación
	0	0.5		
Estabilidad	828.750	841.167	1.50	Aumento
% de Vacíos aire	2.500	4.387	1.89	Aumento
Flujo mm	3.270	2.617	-0.65	Disminuyo
% V.A.M.	13.720	15.387	1.67	Aumento
PVSS	1.900	1.865	-0.03	Disminuyo
VPA	81.880	71.536	-10.34	Disminuyo

Tabla 5.11. Comparación entre una mezcla convencional y usando 0.5 % Cemento Portland.

Como puede observarse en la tabla anterior usando 0.5 % de Cemento Portland en la mezcla, la estabilidad aumento 1.50 %, en los vacíos de aire aumento 1.89 %, el flujo disminuyo 0.65 %, los vacíos de agregado mineral aumentaron en 1.67 %, en P.V.S.S. 0.03 % y en los Vacíos llenos de asfalto Disminuy0 en 10.34%.

Usando 6.5 % C.A.	% Cemento Portland empleado		Aumento o disminuyo	Observación
	0	1		
Estabilidad	828.750	1149.204	38.67	Aumento
% de Vacíos aire	2.500	3.780	1.280	Aumento
Flujo mm	3.270	2.340	-0.930	Disminuyo
% V.A.M.	13.720	14.850	1.130	Aumentó
PVSS	1.900	1.877	-0.023	Disminuyo
VPA	81.880	74.557	-7.323	Disminuyo

Tabla 5.12. Comparación entre una mezcla convencional y usando 1.0 % Cemento Portland.

Como puede observarse en la tabla anterior usando 1.0 % de Cemento Portland en la mezcla, la estabilidad aumento 38.67 %, en los vacíos de aire aumento 1.28 %, el flujo disminuyo 0.93 %, los vacíos de agregado mineral aumentaron en 1.13 %, en P.V.S.S. 0.023% y en los Vacíos llenos de asfalto Disminuy0 en 7.323%.

Por lo tanto realizando estos ensayos se observa que el Cemento Portland interviene en la mezcla haciendo que la estabilidad, el porcentaje de Vacíos de aire, el porcentaje de Vacíos de agregado mineral aumenten, mientras que el flujo, P.V.S.S. y los vacíos llenos de asfalto disminuyan.

5.9. Conclusiones generales.

1. Con base a los ensayos de laboratorio realizados a los agregados pétreos extraídos del Banco de material denominado “Cerro de Los Nogales” ubicado en Maravatio, Michoacán, se deduce que este tipo de material de origen volcánico es de mediana calidad debido a que cumplió algunas pruebas requeridas por la Norma N CMT 4.05.003/008 el cual mide la calidad de los materiales pétreos para mezclas asfálticas, las cuales fueron las siguientes: prueba de equivalente de arena y la prueba del desgaste mediante la prueba del desgaste de los Ángeles. Como observación este material tiene un porcentaje de absorción alto con un valor de 5.24 % el cual nos indica que 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

2. En lo que respecta a la calidad del Cemento Asfáltico se deduce que este es de buena calidad pues cumple con todas los ensayos requeridos para una mezcla asfáltica.

3. En los cálculos que corresponden al Diseño Marshall para encontrar el contenido óptimo de asfalto se puede observar que 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 los porcentajes de Cemento Asfáltico de 6.5 y 7%.

En el flujo está dentro del rango que nos pide la norma de 2 a 3.5 mm para nuestro estudio en los porcentajes de Cemento asfáltico de 5 hasta el 7%.

El % de vacíos está dentro del rango que nos pide la norma de 3 a 5 % para nuestro estudio en los porcentajes de Cemento asfáltico de 7.5%.

El % de V.A.M. está dentro del rango que nos pide la norma de 15 % mínimo para nuestro estudio en los porcentajes de Cemento asfáltico de 7.5% y en 6.5%.

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 dentro del rango que nos pide la norma de 65 % a 75% para nuestro estudio en los porcentajes de Cemento asfáltico de 5% y 5.5%.

De acuerdo a los resultados obtenidos nuestro contenido optimo es del porcentaje de 6.5 %, que es el más indicado por cumplir con la mayoría de los requisitos que nos marca la SCT-N-CMT-4-05-003/08 para un numero de ejes equivalentes mayor de un millón y menor a diez millones de ejes equivalentes.

4. En las gráficas se muestra que:

- La estabilidad, usada en el diseño Marshall, crece con el contenido de asfalto hasta un máximo, después del cual disminuye.
- El flujo, usado en el diseño Marshall, aumenta con contenidos de asfalto crecientes.
- La curva correspondiente a peso específico de la mezcla compacta es análogo a la curva de estabilidad, salvo que en general (pero no siempre) el contenido de asfalto correspondiente al peso específico de la mezcla compacta máximo es ligeramente superior al correspondiente a la estabilidad máxima.
- El porcentaje vacíos en la mezcla compacta disminuye con contenidos crecientes de asfalto, aproximándose finalmente a un mínimo.
- El porcentaje de vacíos llenos con asfalto aumenta con contenidos crecientes de asfalto, aproximándose finalmente a un máximo.

5. Una vez finalizados los trabajos correspondientes a la obtención del contenido óptimo de asfalto para una mezcla elaborada en caliente mediante el método Marshall para el agregado pétreo extraído del banco de materiales Cerro de los nogales , y con una granulometría de diseño acorde a la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), para un numero de ejes equivalentes mayor de un millón de ejes equivalentes y menor a diez millones, se obtuvo como resultado de una serie de ensayos partiendo de un contenido mínimo de 5.0 % de cemento asfáltico del número 20 (AC-20), con incrementos de 0.5 % del mismo hasta un 7.5 % teniendo como resultado óptimo el 6.5 % de AC-20 como óptimo para la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente.

Para los trabajos y fines específicos que persigue la presente tesis se empleó como base el 6.5 % de AC-20 para la elaboración de los especímenes Marshall que llevaron en sus componentes la sustitución en parte de los finos (lo que pasa la malla # 200) por cemento Portland , cubriendo con ello los requerimientos de material ligante para ese agregado pétreo en específico y enfocándonos únicamente en estudiar y comparar las características y comportamiento de la mezcla asfáltica elaborada en caliente por el Método Marshall, para lo cual se propusieron en sustitución directa dos porcentajes: seis especímenes con el 0.5 % de Cemento Portland y seis más con el 1 % de Cemento Portland. Por lo tanto realizando estos ensayos se observa que el Cemento Portland interviene en la mezcla haciendo que la estabilidad, el porcentaje de Vacíos de aire, el porcentaje de Vacíos de agregado mineral aumenten, mientras que el flujo, P.V.S.S. y los vacíos llenos de asfalto disminuyan.

Para finalizar puedo afirmar que toda mezcla asfáltica para tener buenos resultados esta debe de tratar de buscar un buen material pétreo esto debido a que el material 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.

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.

Así como también Como en todo proyecto de ingeniería, la filosofía básica se centra en cambiar de posición los elementos con que contamos en la naturaleza, permitiéndoles adoptar nuevas formas que faciliten el aprovechamiento y el desarrollo de la humanidad.

Como se pudo observar con el empleo de Cemento Portland en un 1% aumento considerablemente la estabilidad lo que se propone en un futuro trabajo hacer unos especímenes pero disminuyendo la cantidad de asfalto y aumentando hasta en un 1.5 % de Cemento portland para hacer nuevamente las comparaciones o bien como se dijo anteriormente buscar nuevas formas de mezcla como por ejemplo con cal o algun otro tipo de material, esto para reducir costos y aumentar beneficios, esto siguiendo las normativas vigentes que satisfagan los requisitos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1.- CTM. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES. (N·CMT·4·04/08)

Parte.- 4.- materiales para pavimentos.

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

1.1.- MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (M- MMP-4-04-002/02).

Parte.- Materiales para Pavimentos.

Título.- Materiales Pétreos Para Mezclas Asfálticas.

Capítulo.- Granulometría de materiales pétreos para Mezclas Asfálticas.

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

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

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

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

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

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

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

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

4.- <http://www.amaac.org.mx/>

5.- <http://www.e-asfalto.com/>

6.- <http://civilgeeks.com/>

Anexos

A) TABLA DEL CÁLCULO DEL CONTENIDO OPTIMO MÉTODO MARSHALL

ENSAYE	PROBETA	%DE C.A. POR PESO DE AGREGADO	PESO (GR)				
			% DE ASFALTO POR PESO DE MEZCLA	ESPECIMEN + PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN SIN PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN + PARAFINA EN AGUA	PARAFINA
		a	b	c	d	e	f
							c - d
1	1	5	4.762	1064	1046	489	18
	2	5	4.762	1064	1046	489	18
	3	5	4.762	1064	1046	489	18
2	1	5.5	5.213	1073	1059	498	14
	2	5.5	5.213	1076	1057	505	19
	3	5.5	5.213	1075	1056	497	19
3	1	6	5.660	1091	1062	501	29
	2	6	5.660	1088	1058	504	30
	3	6	5.660	1086	1063	502	23
4	1	6.5	6.103	1089	1066	502	23
	2	6.5	6.103	1093	1068	499	25
	3	6.5	6.103	1089	1066	506	23
5	1	7	6.542	1095	1072	501	23
	2	7	6.542	1098	1073	498	25
	3	7	6.542	1098	1071	501	27
6	1	7.5	6.977	1106	1077	504	29
	2	7.5	6.977	1104	1076	511	28
	3	7.5	6.977	1102	1077	509	25

CONTINÚA ANEXO TABLA DEL CÁLCULO DEL CONTENIDO ÓPTIMO MÉTODO MARSHALL

VOLUMEN (CM)				VOLUMENES % TOTAL				% VACIOS	
ESPECIMEN + PARAFINA	PARAFINA	ESPECIMEN	ESPECIMEN PESO VOLUMET. (KG / M ³)	DENSIDAD TEORICA MAXIMA	CEMENTO ASFALTICO	MATERIAL PETREO	VACIOS	Material pétreo	LLENADOS POR EL CEMENTO ASFALTICO
G	h	i	j	k	l	m	n	o	p
c – e	f / Dp	g - h	d / i		bj/DCA	100-b*j/dmp	100-l-m	100-m	l/o
575	20.690	554.310	1.887	1.97	8.6820	86.8199	4.4982	13.180	65.872
575	20.690	554.310	1.887	1.97	8.6820	86.8199	4.4982	13.180	65.872
575	20.690	554.310	1.887	1.97	8.6820	86.8199	4.4982	13.180	65.872
			1.887				4.4982	13.180	65.872
575	16.092	558.908	1.895	1.96	9.5439	86.7626	3.6935	13.237	72.098
571	21.839	549.161	1.925	1.96	9.6949	88.1358	2.1692	11.864	81.716
578	21.839	556.161	1.899	1.96	9.5639	86.9442	3.4919	13.056	73.254
			1.906				3.1182	12.719	75.689
590	33.333	556.667	1.908	1.95	10.4336	86.9467	2.6197	13.053	79.931
584	34.483	549.517	1.925	1.95	10.5295	87.7462	1.7243	12.254	85.929
584	26.437	557.563	1.907	1.95	10.4266	86.8886	2.6847	13.111	79.524
			1.913				2.3429	12.806	81.794
587	26.437	560.563	1.902	1.94	11.2139	86.2606	2.5255	13.739	81.619
594	28.736	565.264	1.889	1.94	11.1415	85.7037	3.1548	14.296	77.933
583	26.437	556.563	1.915	1.94	11.2945	86.8806	1.8249	13.119	86.090
			1.902				2.5017	13.718	81.880
594	26.437	567.563	1.889	1.93	11.9386	85.2759	2.7854	14.724	81.082
600	28.736	571.264	1.878	1.93	11.8723	84.8025	3.3252	15.198	78.120
597	31.034	565.966	1.892	1.93	11.9612	85.4369	2.6020	14.563	82.133
			1.886				2.9042	14.828	80.445
602	33.333	568.667	1.894	1.93	12.7665	85.1097	2.1238	14.890	85.737
612	32.184	579.816	1.856	1.93	12.5093	83.3956	4.0950	16.604	75.338
603	28.736	574.264	1.875	1.93	12.6420	84.2801	3.0779	15.720	80.420
			1.88				3.10	15.738193	80.49826629

CONTINUA

ESTABILIDAD (KG)					FLUJO	
LECTURA	ALTURA ESPECIMEN (Cm)	ESTABILIDAD (KG)	FACTOR DE CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA (KG)	FLUJO EN (0.0 I")	FLUJO EN (M. M.)
q	z	s	t	u	v	w
		q.r		s.t		
167	7.6	761.7381	0.76	578.921	0.055	2.170
167	7.6	761.7381	0.76	578.921	0.055	2.170
167	7.6	761.7381	0.76	578.921	0.055	2.170
			Promedio	578.921	Promedio	2.170
140	6.6	637.3602	0.96	611.866	0.062	2.430
160	6.8	729.4477	0.89	649.208	0.066	2.580
176	6.3	803.2967	1	803.297	0.066	2.590
			Promedio	688.124	Promedio	2.533
16	7.3	868.0326	0.81	703.106	0.077	3.030
206	7.2	942.1380	0.83	781.975	0.073	2.880
194	7.1	886.5473	0.83	735.834	0.078	3.080
			Promedio	740.305		2.997
218	7.3	997.7937	0.81	808.213	0.082	3.210
225	7.4	1030.2871	0.78	803.624	0.083	3.280
230	7.1	1053.5082	0.83	874.412	0.084	3.320
				828.750	Promedio	3.270
190	7	868.0326	0.86	746.508	0.086	3.380
210	6.5	960.6830	0.96	922.256	0.085	3.330
200	6.9	914.3342	0.86	786.327	0.086	3.380
			Promedio	818.364	Promedio	3.363
210	7.5	960.6830	0.78	749.333	0.091	3.570
180	6.8	821.7819	0.89	731.386	0.087	3.430
190	7.4	868.0326	0.78	677.065	0.093	3.660
			Promedio	719.261	Promedio	3.553

Resultados con diferentes porcentajes de Cemento Asfáltico

%C.A.	Estabilidad	% de Vacíos	Flujo mm	% V.A.M.	PVSS	VACIOS LLENOS POR ASFALTO
5	578.921	4.498	2.170	13.180	1.887	65.872
5.5	688.124	3.118	2.533	12.719	1.906	75.689
6	740.305	2.343	2.997	12.806	1.913	81.794
6.5	828.750	2.502	3.270	13.718	1.902	81.880
7	818.364	2.904	3.363	14.828	1.886	80.445
7.5	719.261	3.099	3.553	15.738	1.875	80.498

ANEXOS

De acuerdo a la norma de la SCT- N-CMT-4-05-003/08 PARA UN NUMERO DE EJES EQUIVALENTES MAYOR DE UN MILLON Y MENOR A DIEZ MILLONES DE EJES EQUIVALENTES.

CONCEPTO	NORMA SCT.
ESTABILIDAD	815.8 Kg Mínimo
FLUJO	2.0 a 3.5 mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %
%V.A.M.	15.0 % Mínimo
P.V.M.	SIN NORMA
%V.A.F.	65 - 75%

DATOS DEL MATERIAL PÉTREO

ABSORCION (%) :	5.24
DENSIDAD mat.grueso:	2.07
DENSIDAD mat.fino:	2.07
P.V.S.S. (kg / m³) :	1,427.37
DESGASTE :	29.72
EQUIVALENTE DE ARENA :	93.19
CONTRACCION LINEAL :	0.30
DENSIDAD MAT.PETREO:	2.07

DATOS DEL CEMENTO ASFALTICO

DENSIDAD :	1.035
CONT.MINIMO (%C.A.)	5.00

DATOS PARAFINA

DENSIDAD :	0.87
------------	------

% DE C.A.=	% DE M.P.=	DCA =	DMP =	DMT=
5	95	1.035	2.07	1.971
5.5	94.5	1.035	2.07	1.962
6	94	1.035	2.07	1.953
6.5	93.5	1.035	2.07	1.944
7	93	1.035	2.07	1.935
7.5	92.5	1.035	2.07	1.926

ANEXOS

B) METODO MARSHALL INCORPORANDO CEMENT PORTLAND.

ENSAYE	PROBETA	PESO (GRS)					
		%DE C.A. POR PESO DE AGREGADO	%DE ASFALTO POR PESO DE MEZCLA	ESPECIMEN + PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN SIN PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN + PARAFINA EN AGUA	PARAFINA
		a	b	c	d	e	f c - d
1	1	6.5	6.10	989	960	445	29
1	2	6.5	6.10	1007	983	455	24
1	3	6.5	6.10	1023	991	464	32
2	1	6.5	6.10	993	971	453	22
2	2	6.5	6.10	1014	993	466	21
2	3	6.5	6.10	1026	1006	471	20

VOLUMEN (CM)					VOLUMENES % TOTAL		% VACIOS		
ESPECIMEN + PARAFINA	PARAFINA	ESPECIMEN	ESPECIMEN PESO VOLUMET. (KG / M ³)	DENSIDAD TEORICA MAXIMA	CEMENTO ASFALTICO	MATERIAL PETREO	VACIOS	MATERIAL PETREO	LLENADOS POR EL CEMENTO ASFALTICO
g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
c - e	f / Dp	g - h	d / i		bj/DCA	100-b*j/dmp	100-l-m	100-m	l/o
544	28.02	515.98	1.860534791	1.94366197	10.971378	84.39522	4.6334	15.60478141	70.3077994
552	23.19	528.81	1.858885113	1.94366197	10.96165	84.32039	4.71796	15.67961203	69.9102147
559	30.92	528.08	1.876602051	1.94366197	11.066125	85.12404	3.80983	14.87595877	74.3893253
			1.865340652				4.38707	15.38678407	71.5357798
540	21.26	518.74	1.871829018	1.94366197	11.037979	84.90753	4.05449	15.09246701	73.135686
548	20.29	527.71	1.881714819	1.94366197	11.096275	85.35596	3.54777	14.64403986	75.7733175
555	19.32	535.68	1.877999729	1.94366197	11.074367	85.18744	3.73819	14.81255905	74.7633632
			1.877181189				3.78015	14.84968864	74.5574556

ANEXOS

ESTABILIDAD (KG)					FLUJO	
LECTURA MAQUINA	ALTURA ESPECIMEN (Cm)	ESTABILIDA D (KG)	FACTOR DE CORRECCIÓ N	ESTABILIDA D CORREGIDA (KG)	FLUJO EN (0.0 l")	FLUJO EN (M. M.)
q	z	s q.r	t	u s.t	v	w
0.21	7	960.683013	0.86	826.187392	0.064516	2.540
0.23	7.2	1053.50822	0.83	874.411821	0.069088	2.720
0.2	6.7	914.334154	0.9	822.900739	0.065786	2.590
				841.166651		2.617
0.31	7.2	1425.9808	0.83	1183.56406	2.15	2.150
0.32	7.1	1472.61228	0.83	1222.2682	2.09	2.090
0.28	7.3	1286.14688	0.81	1041.77898	2.78	2.780
				1149.20374		2.340

DATOS DEL MATERIAL PÉTREO

ABSORCION (%) :	5.24
DENSIDAD mat.grueso:	2.07
DENSIDAD mat.fino:	2.07
P.V.S.S. (kg / m³) :	1,427.37
DESGASTE :	29.72
EQUIVALENTE DE ARENA :	93.19
CONTRACCION LINEAL :	0.30
DENSIDAD MAT.PETREO:	2.07

DATOS DEL CEMENTO ASFALTICO

DENSIDAD :	1.035
CONT.MINIMO (%C.A.)	5.00

DATOS PARAFINA

DENSIDAD :	0.87
------------	------