



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE UNA MEZCLA
ASFÁLTICA ELABORADA EN CALIENTE POR EL
MÉTODO MARSHALL
SOMETIDA A CONGELAMIENTO”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

P.I.C.

ALEJANDRO TORRES URUETA

ASESOR:

Doctor en Ingeniería Civil.

MARIO SALAZAR AMAYA

Co-ASESOR:

Maestro en Ingeniería Civil.

ISAID CAMPA DOMÍNGUEZ





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 13 de Julio de 2015

C. ALEJANDRO TORRES URUETA
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 DE LAS PROPIEDADES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ELABORADA EN CALIENTE POR EL MÉTODO MARSHALL SOMETIDA A CONGELAMIENTO.", mismo que será asesorado por el profesor Mario Salazar Amaya.

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

ATENTAMENTE



WILFRIDO MARTINEZ MOLINA
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TESIS

Asesor principal de Tesis.
Doctor en Ingeniería Civil. Mario Salazar Amaya.

Co-Asesor:
Maestro en Ingeniería Civil. Isaid Campa Domínguez.

Alumno:
Alejandro Torres Urueta.

Titulo:
**“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DE UNA MEZCLA
ASFÁLTICA ELABORADA EN CALIENTE POR EL
MÉTODO MARSHALL
SOMETIDA A CONGELAMIENTO”**

Agradecimientos:

El haber llegado a terminar una más de mis metas en mi vida, y agradecer a todos los que me apoyaron directa o indirectamente en mis estudios profesionales, Gracias.

A DIOS

Por darme principalmente vida, fortaleza, salud y sabiduría para superar todos los obstáculos,

A MIS PADRES

Quienes me apoyaron en todo momento, para ser quien soy hoy. Gracias por todo siempre.

A MI FAMILIA

A mis abuelos, hermanos, a mis tíos, tías, primos y primas, quienes me apoyaron en todo momento.

A MIS AMIGOS

A mis amigos que siempre estuvieron incondicionalmente en el transcurso de la carrera.

A MIS MAESTROS

Que me impartieron todas las herramientas para mi carrera profesional, y a mi Asesor **Dr. Mario Salazar Maya** y Co-Asesor el Ing. **Isaid Campa Domínguez** que me apoyaron para la realización de esta tesis.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVO	4
<i>CAPITULO 1</i>	
<i>LOS CAMINOS EN MÉXICO</i>	5
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS CAMINOS EN MÉXICO.	5
1.2. EVOLUCIÓN DE LOS CAMINOS EN MÉXICO.	6
<i>CAPITULO 2</i>	
<i>ESTUDIO DEL MATERIAL PÉTREO</i>	7
2.1. INTRODUCCIÓN.....	7
2.2. TIPOS DE AGREGADO PÉTREO.	7
2.3. NATURALEZA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.	8
2.4. BANCO DE MATERIALES EN ESTUDIO.....	9
2.5. IDENTIFICACIÓN, MUESTREO, TRANSPORTE Y PREPARACIÓN.....	10
2.6. PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (P.V.S.S).	11
2.7. GRANULOMETRÍA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	12
2.8. PRUEBA DE DENSIDAD RELATIVA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ABSORCIÓN.....	16
2.9. EQUIVALENTE DE ARENA DE MATERIALES PÉTREOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICA.....	18
2.10. DESGASTE MEDIANTE LA PRUEBA DEL DESGASTE DE LOS ÁNGELES.....	21
2.11. TABLA DE RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS APLICADAS AL MATERIAL PÉTREO. .	23

<i>CAPITULO 3</i>	
<i>CEMENTO ASFALTICO</i>	24
3.1. INTRODUCCIÓN	24
3.2. DEFINICIÓN Y PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFALTICO.	24
3.4. PENETRACIÓN EN CEMENTOS ASFALTICO.	25
3.5. PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFALTICOS.	27
3.6. PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFALTICOS.	28
3.7. PRUEBA DE DUCTILIDAD DE CEMENTOS ASFALTICO.	30
3.8. TABLA DE RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS APLICADAS AL CEMENTO ASFALTICO.	31
 <i>CAPITULO 4</i>	
<i>DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA</i>	32
4.1. INTRODUCCIÓN	32
4.2. CONTENIDO MÍNIMO DE CEMENTO ASFALTICO.	33
4.3. CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO.....	37
 <i>CAPITULO 5</i>	
<i>MEZCLA ASFÁLTICA SOMETIDA A CONGELAMIENTO</i>	52
5.1. INTRODUCCIÓN	52
5.2. JUSTIFICACIÓN.	52
5.3. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.	53
5.4. CONGELAMIENTO DE ESPECÍMENES.....	55
5.5. PRUEBA DE ESPECÍMENES.	58
5.6. RESISTENCIA DE ESPECÍMENES.	60
5.7. COMPARATIVO ESPECÍMENES.	61
5.8. COMPARATIVO DE ESPECÍMENES VS MEZCLA CONVENCIONAL.	61
5.9. CONCLUSIONES GENERALES.	64
 <i>REFERENCIAS</i>	65

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 de la tesis consistió en caracterizar y comparar el comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente por el Método Marshall, donde las primeras mezclas se elaboraron con el procedimiento convencional de acuerdo al manual utilizando el método Marshall, y las segundas mezclas se elaboraron con el mismo procedimiento convencional pero sometiéndolas a congelamiento durante un periodo establecido de 24, 48 y 72 horas a 0°C.

En el capítulo 1, es una introducción sobre los antecedentes históricos de los caminos en México y la evolución de estos caminos.

En el capítulo 2, comprende del material pétreo que se utilizó en estas pruebas, así como sus propiedades, y también sus estudios para determinar la calidad del material pétreo.

En el capítulo 3, se refiere al cemento asfáltico y sus características principales y a las pruebas que debe cumplir para el diseño de la mezcla asfáltica.

En el capítulo 4, es la descripción de este trabajo, el cual comprende la caracterización de los materiales utilizados en la mezcla asfáltica, así como la preparación y compactación de los especímenes, la determinación y selección del contenido mínimo y óptimo de asfalto. En este capítulo también se presentan y analizan los resultados de las pruebas de los especímenes.

En el capítulo 5, de acuerdo al contenido óptimo obtenido anteriormente, se realizan mezclas y especímenes donde se someterán a congelamiento durante un periodo de tiempo de 24, 48 y 72 hrs, así como también obteniendo sus resultados y gráficas de la prueba y finalmente hacemos comparación de entre los especímenes congelados contra los especímenes convencionales.

PALABRAS CLAVE: ASFALTO, PÉTREO, MEZCLA ASFÁLTICA, DISEÑO MARSHALL Y CONGELAMIENTO.

Abstract

This thesis is a study of different types of asphalt mixtures of dense grain, hot and compiled by the Marshall method.

The main aim of the thesis agreed to characterize and compare the behavior of hot mix asphalt by the Marshall method, where the first mixtures produced with the conventional method according to the manual using the Marshall method, and second mixtures were prepared with but the same conventional method by subjecting them to freeze for a set period of 24, 48 and 72 hours at 0 ° C.

Chapter 1 is an introduction to the historical background of the roads in Mexico and the evolution of these roads.

Chapter 2 comprises of stone material as used in these tests and their properties, and their studies to determine the quality of the stone material.

In Chapter 3, it refers to the asphalt cement and its main characteristics and tests to be met for the design of the asphalt mix.

In Chapter 4, it is the description for this work, which includes the characterization of materials used in the asphalt mixture, and the preparation and compaction of the specimens, the identification and selection of minimum and optimum asphalt content. This chapter also presents and analyzes the results of the test specimens.

In chapter 5, according to the optimum content obtained above mind, and mixtures where specimens subjected to freeze a period of time lasting 24, 48 and 72 hours are performed, as well as getting your results and graphs of the test and finally we Comparison between frozen against conventional specimens specimens.

KEYWORDS: *ASPHALT, STONE, ASPHALT MIX DESIGN MARSHALL, FREEZING.*

Introducción

En este trabajo se pretende determinar el comportamiento mecánico de mezclas asfálticas sometidas a congelamiento para obtener resultados que se compararán con los obtenidos en una mezcla elaborada de manera convencional por el método de pruebas Marshall.

El uso del material pétreo de origen volcánico, fue obtenido en el banco de materiales “Los Nogales”, que se encuentra en la región de Maravatio, Michoacán. A este material pétreo se le realizaron las pruebas correspondientes, para determinar su calidad.

Así como también al cemento asfáltico se le realizaron las pruebas correspondientes para verificar su calidad.

Para la elaboración de los especímenes, se utilizó el Método Marshall, que es aplicable a nuestro material que tiene un tamaño máximo de 25 mm (1”), para la obtención del contenido óptimo de asfalto se emplearon el método de la superficie específica y la fórmula analítica de la SCT, donde se obtuvo un porcentaje de contenido mínimo de asfalto alto de acuerdo a lo estándar, esto debido a las características del material pétreo por su alto contenido de absorción.

Después de obtener el % de contenido óptimo de cemento asfáltico, se realizaron especímenes con este porcentaje y se sometieron a congelación de 0°C durante un periodo de 24, 48 y 72 hrs, para después probarlos, después se compararon los resultados de los especímenes congelados vs los especímenes convencionales, para obtener una conclusión del comportamiento de cada uno de los especímenes.

Objetivo

El objetivo principal de este trabajo consiste en hacer un análisis comparativo de las propiedades de una mezcla asfáltica elaborada en caliente vs una mezcla asfáltica elaborada en caliente sometida a congelamiento.

Estas mezclas fueron elaboradas por el método Marshall, con una granulometría densa en caliente, cabe destacar que los primeros especímenes fueron elaborados de manera convencional y los segundos se sometieron al congelamiento.

Esto se realizó con la finalidad de saber cómo es el comportamiento de las mezclas asfálticas a temperaturas menores o igual a 0°C, esto de acuerdo a que el clima en nuestro estado de Michoacán ha cambiado y en algunas regiones esta la temperatura en 0°C o menos, es por esto que las mezclas asfálticas se sometieron a congelación.

Al final de este trabajo se describe las conclusiones obtenidas de las comparaciones de estos dos especímenes y también una propuesta para seguir trabajando con este tema en futuros trabajos.

Capítulo 1

LOS CAMINOS EN MÉXICO

1.1. Antecedentes históricos de los caminos en México.

En la actualidad México se encuentra constituido por una extensa red de caminos de todas categorías de acuerdo a su economía. Los caminos han establecido con el paso del tiempo, un valor fundamental en el país, ya que la mayoría de ellos ha servido como vías de transporte mercantil desde la época prehispánica hasta la actualidad. Los caminos ya existían 40 años desde antes de la llegada española.

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

Estos amplios caminos eran diseñados y construidos por los aztecas y los mayas con el fin y propósito de usarse con fines comerciales, religiosos y bélicos.

La historia nos ha dejado la constancia, de que los antepasados que con tanto interés se dedicaron a la construcción de caminos, también se preocuparon por la conservación de estos mismos, emitiendo leyes sobre la manera en que debían repararse estos caminos, en el mantenimiento y reparación de los caminos cooperaban también todos los habitantes, con la excepción de los guerreros, los magistrados y otros altos mandos.

Con la colonización de la Nueva España, trajo como consecuencia un sensible mejoramiento de los caminos ya existentes y la apertura de muchos más, la introducción de animales de tiro y carga, originaron las primeras modificaciones a los caminos existentes, con la finalidad de moverse a caballo y desplazar cargamentos a ciudades o centros.

Los nuevos caminos que se abrieron paso, por lo regular, fueron aquellos que centraban en las principales ciudades, pero sobre todo, los que se necesitaban para llegar a las zonas costeras, ya que las embarcaciones llegaban con cargamentos a los puertos marítimos y necesitaban espacio por el cual moverse con facilidad para transportar los bienes.

En 1522 se abrió el camino entre Veracruz y México, por órdenes de Álvaro López, el primer camino construido por la Nueva España. El más importante de la época de la Colonia.

Durante la época colonial en México se construyeron muchos caminos a las principales ciudades de México, como a Guadalajara, Monterrey, Zacatecas, Puebla, Durango, Acapulco, Chihuahua, etc.

En 1768 Don Manuel Mascorro mando a construir la carretera que va de México a Valladolid, hoy conocido como Morelia.

En los años posteriores de 1810 poco se hizo para la calidad de los caminos, las leyes del 1 de Junio de 1839, 2 de Diciembre de 1842 y 27 de Noviembre de 1846 crearon la Dirección General de Colonización e Industria. Para establecer fondos en caso de construcción y reparación de los caminos debidamente asignados.

En 1842 la Dirección General de Colonización e Industria sede sus funciones a la Secretaría del Fomento, con el fin de formalizar la construcción de caminos al crear un Cuerpo Civil de Ingenieros en Caminos, Puentes y Calzadas.

Para 1910 México ya contaba con un gran número de caminos carreteros. Carreteras con capacidades de 7'605 y 19'720 km., variando según su estado de conservación de acuerdo con su importancia.

1.2. Evolución de los caminos en México.

La historia de los caminos en México, es la historia del esfuerzo del hombre que aplicando su ingenio sobre la naturaleza, cambio el entorno de la tierra de acuerdo a sus necesidades.

Al llegar a México los primeros automóviles provocaron la necesidad de caminos y carreteras para que circularan. Con lo que las antiguas brechas y caminos de piedra, fueron sustituidas por caminos reales, hasta llegar a las modernas carreteras de asfalto.

En 1952 se inauguran las primeras autopistas en México, la México- Cuernavaca con una longitud de 62 km y la Amacúza- Iguala con 51 km; su administración y operación se otorgaron inicialmente a la empresa que las construyó, en 1956 la empresa cambio de nombre a Caminos Federales de Ingresos S.A de C.V.

Para 1970 se podría considerar que todos los estados estaban unidos a través de la red federal o red troncal. En 1971 se inicia el programa de Caminos de Mano de Obra.

El presidente Carlos Salinas de Gortari, a partir del año 1988, dio impulso a la construcción de las autopistas por toda la república mexicana. Entre 1989-1994 existían 2'500 km de autopista mediante la inversión privada.

Para el año 2000 totalizo 333 mil 247 kilómetros de carretera. En 2003 México cuenta con una red de aproximadamente 325'000 km de caminos de todo tipo. Para el 2011 la longitud total de la red nacional de carreteras en México es de 370'000 km incluye las carreteras de todo tipo.

En el 2013 la longitud de la red nacional de carreteras en México es de 423'000 km, incluyendo las carreteras federales y estatales de cuota y libres, los caminos locales y rurales.

Capítulo 2

ESTUDIO DEL MATERIAL PÉTREO

2.1. Introducción.

En definición el agregado pétreo son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos.

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

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

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. Tipos de agregado pétreo.

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

a) Agregados Naturales:

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

b) Agregados de Trituración:

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

c) Agregados Artificiales:

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

d) Agregados Marginales:

Estos agregados en global son todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

2.3. Naturaleza de los agregados pétreos.

Desde un punto de vista práctico, los agregados se pueden clasificar en tres grandes grupos: agregados calizos, agregados silíceos y agregados ígneos y metamórficos.

◆ Agregados Calizos:

La roca caliza es muy común, abundante y económica en los procesos de trituración, se emplea generalmente en todas las capas de los firmes, exceptuándose en algunas ocasiones como agregado grueso en las capas de rodadura, debido a la facilidad que tiene de pulimentarse en condiciones de servicio, su carácter es básico, presenta por lo regular menores problemas de adhesividad, es decir, de afinidad con los ligantes asfálticos. En mezclas asfálticas se utiliza para mejorar esta característica cuando se emplean además otro tipo de agregados, más duros pero también más ácidos (silíceos, pórfidos, entre otros).

◆ Agregados Silíceos:

Los agregados silíceos procedentes de trituración de gravas naturales es otro material de amplia utilización en las todas capas de los firmes. Se extraen de yacimientos granulares, en los que las partículas de mayor tamaño se separan por cribado y a partir de ellas por machaqueos sucesivos, se obtienen fracciones de menor tamaño, con una angulosidad tanto mayor cuantas más caras de fractura presenten. Pueden no aportar una suficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, sin embargo, si el material obtenido tiene un elevado contenido de sílice y de caras de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno para utilizarlo incluso en mezclas asfálticas sometidas a la acción directa del tráfico.

◆ **Agregados Ígneos y Metamórficos:**

Son materiales que por sus características resultan muy adecuados para utilizarlos como agregado grueso en las capas de rodadura. Pueden incluirse en este grupo los basaltos, gabros, pórfidos, granitos, cuarcitas, etc. Sus cualidades para resistir al pulimento los hacen idóneos para garantizar la textura superficial necesaria en un periodo de tiempo, incluso con tráficos muy intensos. En este grupo tan amplio, los agregados de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, pero en la mayoría de los casos el problema se puede resolver con activantes que son sustancias que tienen la misión específica de mejorar la adhesividad con los ligantes, o también el problema se resuelve empleando emulsiones adecuadas y en el caso de mezclas asfálticas, con el empleo de finos de naturaleza básica y un polvo mineral adecuado.

2.4. Banco de materiales en estudio.

El material a usarse en el análisis para nuestras muestras representativas es de el **Banco de materiales “Los Nogales”**, que se ubica en **Maravatio, Michoacán**.

El material pétreo que se extrae del banco de materiales, es del tipo volcánico natural, este material es muy poroso lo cual indica que tiene un alto índice de absorción, etc. En este capítulo se le realizan pruebas al agregado pétreo a utilizar, con el fin de saber su comportamiento para obtener el mejor comportamiento en las mezclas asfáltica.

Para determinar la calidad del material pétreo, para mezclas asfálticas existen pruebas de laboratorio que nos pueden ayudar a obtener las características del agregado del banco de materiales en estudio (Los Nogales), 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 de material pétreo en estudio, para llevarla a laboratorio donde se le realizaran las pruebas correspondientes para el estudio respectivo.

Si se realiza directamente en los bancos de material se debe de tomar del frente que se vaya a utilizar en la obra respectiva, esta muestra debe reunir las características de todo el material en general, para que esta sea realmente representativa, (tamaño, colores, formas, etc.). El muestreo incluye además las operaciones de envase, identificación y transporte de la muestra.

El banco de materiales en estudio se localiza en la carretera Maravatio – Ciudad Hidalgo. El banco de materiales “Los Nogales” tiene las siguientes coordenadas: $19^{\circ}46'9.54''N$ y $100^{\circ}27'27.46''O$.

En la siguiente imagen se puede apreciar mejor la ubicación del banco de material.

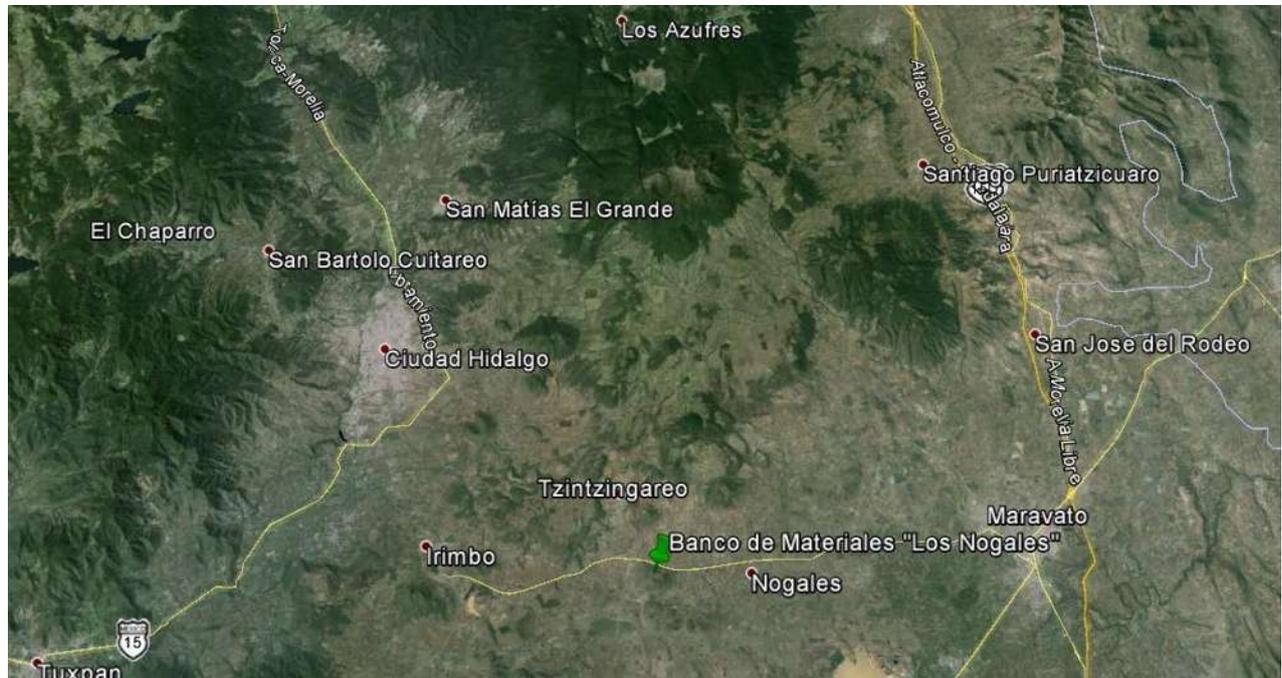


Fig.- 1.- Localización del bando de materiales “Los Nogales”.

2.6. Peso Volumétrico Seco Suelto (P.V.S.S).

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

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

$$P.V.S.S = \frac{W_1 - W_2}{V} * 1000$$

Dónde:

PVSS= Peso Volumétrico Seco Suelto (Kg/m³)

W₁ = Peso del material seco (Kg)

W₂ = Peso del recipiente (Kg)

V= Volumen del recipiente (Lts.)

Peso Volumétrico Seco Suelto (P.V.S.S)					
	W1 (Kg)	W2 (Kg)	V (Lts)	P.V.S.S (kg/m3)	P.V.S.S (kg/m3)
1	5.643	1.847	2.85	1331.9	1332.0
2	5.163	1.847	2.85	1163.5	
3	6.124	1.847	2.85	1500.7	

Tabla 1.- Peso volumétrico seco suelto.



Fig.- 2.- Llenado de material pétreo.



Fig.- 3.- Llenado de recipiente para la prueba.



Fig.- 4.- Enrasado de recipiente.



Fig.- 5.- Pesos de material y recipiente.

2.7. Granulometría de materiales pétreos para mezclas asfálticas.

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

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

El objetivo de esta prueba nos permite determinar la composición por tamaños (granulometría) de las partículas del material pétreo a emplear en mezclas asfálticas.

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 el material que se retiene en cada malla, para calcular su porcentaje respecto al total y definir la cantidad de material que pasa.

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



Fig.- 6.- Muestra Representativo del material.



Fig.- 7.- Cribado de material.



Fig.- 8.- Material Cribado (medios).



Fig.- 9.- Material Cribado (gruesos).



Fig.- 10.- Material Cribado (finos).



Fig.- 11.- Material Cribado (finos).

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

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

Tabla 2.- Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (Para cualquier valor de la vida útil del pavimento ΣL).

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

Tabla 3.- Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (para $\Sigma L > 10^6$).

Estas mallas se preparan en dos juegos, el primero para la grava (gruesos) y el segundo para la arena (finos), ensamblándola en orden descendente de aberturas de acuerdo con lo indicado en la tabla terminando en el fondo con la charola receptora.

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

Tabla 4.- Juego de mallas para gravas (gruesos).

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

Tabla 5.- Juego de mallas para arenas (Finos).

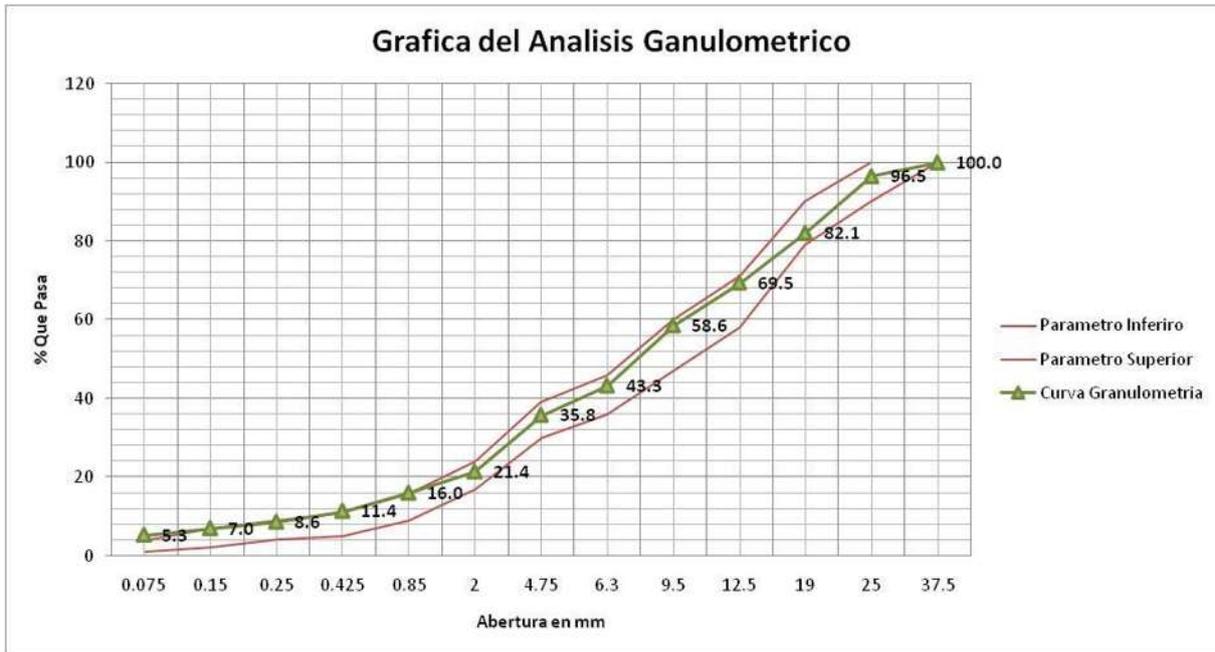
En las siguientes tablas se muestra los resultados de la prueba de granulometría.

Granulometría en Material Grueso				
N° Malla	Peso Retenido Parcial (Grs)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% Que Pasa la Malla
1 1/2"	0	0	0	100
1"	504	3.5	3.5	96.5
3/4"	2072	14.4	17.9	82.1
1/2"	1813	12.6	30.5	69.5
3/8"	1568	10.9	41.4	58.6
1/4"	2202	15.3	56.7	43.3
N° 4	1079	7.5	64.2	35.8
Pasa N° 4	5152	35.8	---	---
Total	14390	100		

Tabla 6.- Resultados de gravas (gruesos).

Granulometría en Material Fino				
N° Malla	Peso Retenido Parcial (Grs)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulativo	% Que Pasa la Malla
10	80.4	14.4	78.6	21.4
20	30.1	5.4	84.0	16.0
40	25.7	4.6	88.6	11.4
60	15.6	2.8	91.4	8.6
100	8.9	1.6	93.0	7.0
200	9.5	1.7	94.7	5.3
Pasa 200	29.8	5.3	100.0	0.0
Total	200	35.8		

Tabla 7.- Resultados de arenas (finos).



Grafica 1.- Análisis granulométrico del material pétreo.

Para un mayor entendimiento se realizó la gráfica para ver si el material se encontraba dentro de los rangos requeridos, por lo que se observa que el material se encuentra dentro de estos rangos por lo que se considera como un material bien graduado.

2.8. Prueba de densidad relativa de materiales pétreos para mezclas asfálticas y absorción.

El objetivo de esta prueba es determinar la densidad relativa y absorción del material pétreo a usar en mezclas asfálticas para determinar su porosidad.

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 normas o especificaciones.

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

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

La densidad relativa aparente de un material pétreo se define como la relación de peso de dicho material con respecto al agua destilada a 4° C, en tanto la absorción, es la capacidad máxima del material para

absorber agua en un periodo de 24 horas. Estas pruebas se practican al material pétreo retenido en la malla de 3/8" (9.50 mm).

Para obtener la densidad relativa y la absorción de calcula con las siguientes expresiones:

$$Dr = \frac{Ps}{V}$$

Dónde:

Dr= Densidad relativa aparente

Ps= Peso seco del material (gr.)

V= Volumen desalojado de agua (cm³)

Densidad Relativa				
	Ps (grs)	V (cm ³)	Dr	Densidad Relativa
1	295	130	2.27	2.15
2	305	198	1.54	
3	315	119	2.65	

Tabla 8.- Densidad Relativa.

$$\% \text{ de absorción} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Dónde:

Ph= Peso húmedo del material (gr.)

Ps= Peso seco del material (gr.)

% Absorción				
	Ph (grs)	Ps (grs)	% Abs.	% Absorción
1	320	310	3.23	6.3
2	339	309	9.71	
3	297	280	6.07	

Tabla 9.- % de Absorción.



Fig.- 12.- Saturación del material.



Fig.- 13.- Secado superficial.



Fig.- 14.- Secado del material.



Fig.- 15.- Peso del material seco.

2.9. Equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfáltica.

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

El objetivo de 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 preparar la solución de trabajo primero se debe tener una solución de reserva que se prepara de la siguiente manera: Se disuelve 454 gr. de cloruro de calcio en 1.9 lts de agua destilada, y se enfría la solución al aire libre, hasta alcanzar la temperatura ambiente y después se pasa a través de papel filtro, se agrega 47 grs de formaldehído y 2,047 grs de glicerina, mezclándose bien y diluyéndose con agua destilada hasta completar 3.2 lts de agua.

Después de tener la solución de reserva se prepara la solución de trabajo de la siguiente forma: 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.

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

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

Dónde:

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

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

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

Tabla 10.- % de Equivalente de Arena.



Fig.- 16.- Capsula de muestra.



Fig.- 17.- Equipo sifón.



Fig.- 18.- Muestra de la prueba.



Fig.- 19.- Cilindro y pistón de la prueba.



Fig.- 20.- Cilindro con la muestra.



Fig.- 21.- Sifón y cilindros.

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

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

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

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

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.- 11.- Clasificación del material 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 C**, puesto que el mayor porcentaje de partículas se retiene en la malla 1/4" (6.30 mm).

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.)

Material Pétreo a utilizar:

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

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

C. N° de Esferas = 8

D. Tiempo = 12.5 minutos

Wi = 5,000 grs

Wf = 3,427 grs

% Desgaste de los Ángulos			
	Wi(gr)	Wf(gr)	% Desgaste
1	5000	3427	31.46

Tabla.- 12.- % desgaste de los ángulos.

2.11. Tabla de resumen de resultados de las pruebas aplicadas al material pétreo.

Banco de Materiales "Los Nogales" Maravatio, Mich

Nombre de la Prueba	Resultado	Especificaciones de SCT
Peso Volumétrico Seco Suelto	1332 Kg/m ³	No Existe Norma
Granulometría	Se obtuvo de la Granulometría	Especificada en la Grafica (Granulometría) se tomo de la tabla # 1 del libro de la SCT características de los materiales (m-mmp-4-04-002/2).
Densidad Relativa Aparente	2.15	2.4% como mínimo de la norma (M-MMP-4-04-004/02)
Absorción	6.3	De Acuerdo a la Especificación (Alta más del 4%, Media entre 2 y 4%, Baja menos del 2%)
Equivalente de Arena	75.50%	50% como Mínimo de la norma (M-4-04-004/02)
Desgaste de los Ángeles	31.46%	30% como máximo de la norma la (M-MMP-4-04-006/02)

Tabla.- 13.- Tabla de resultados de las pruebas.

Capítulo 3

CEMENTO ASFÁLTICO

3.1. Introducción.

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

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

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

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

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

3.2. Definición y propiedades del cemento asfáltico.

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

En definición el asfalto es un material viscos, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras, autovías o autopistas.

También es utilizado en impermeabilizantes, está presente en el petróleo y compuestos casi por completo de bitumen.

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

- ◆ *Penetración en cementos asfálticos.*
- ◆ *Punto de inflamación Cleveland en cementos asfálticos.*
- ◆ *Punto de reblandecimiento en cementos asfálticos.*
- ◆ *Ductilidad en cementos asfálticos.*

3.4. Penetración en cementos asfáltico.

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.

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

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

Tabla.- 14.- Prueba de penetración en cemento asfáltico.



Fig.- 22.- Capsulas para la prueba.



Fig.- 23.- Capsula llena y penetro metro.



Fig.- 24.- Capsula en baño de agua.



Fig.- 25.- Capsula en penetro metro.



Fig.- 26.- Prueba de penetración.



Fig.- 27.- Capsula después de la prueba.

3.5. Punto de inflamación Cleveland en cementos asfálticos.

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

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

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

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

Los resultados de esta prueba fueron los siguientes:

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

Tabla.- 15.- Prueba punto de inflamación.



Fig.- 28.- Copa abierta de Cleveland.

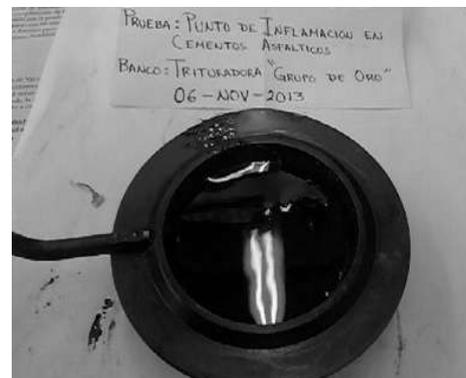


Fig.- 29.- Copa con cemento asfáltico.



Fig.- 30.- Aplicación de la prueba.



Fig.- 31.- Aplicación de calor a la muestra.

3.6. 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.

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

Los resultados de esta prueba fueron los siguientes:

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

Tabla.- 16.- Prueba de reblandecimiento.



Fig.- 32.- Anillos para la prueba.



Fig.- 33.- Anillos engrasados y anillo de centrado.



Fig.- 34.- Anillos en base la base de la prueba.



Fig.- 35.-Baño de agua con balín.

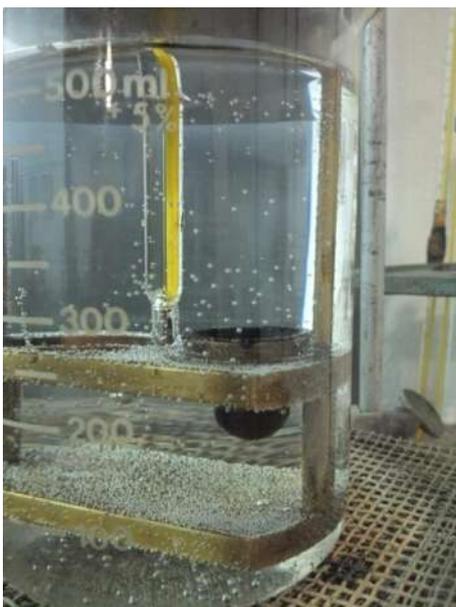


Fig.- 36.-Reblandecimiento con el balín en baño de agua.



Fig.- 37.-Prueba terminada.

3.7. Prueba de ductilidad de cementos asfáltico.

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

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

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

Los resultados de esta prueba fueron los siguientes:

Prueba de Ductilidad	
Muestra	Longitud (cm)
1	141

Tabla.- 17.- Prueba de ductilidad.



Fig.- 38.-Juego de briquetas de prueba.



Fig.- 39.-Vaciado del cemento.



Fig.- 40.-Prueba de ductilidad con briquetas.



Fig.- 41.-Maquina de prueba de ductilidad.

3.8. Tabla de resumen de resultados de las pruebas aplicadas al cemento asfáltico.

Cemento Asfáltico AC-20 (EKBE 64 -22) Salamanca.		
Nombre de la Prueba	Resultado	Especificación
Penetración en cemento asfáltico	50	60 mínimo; N-CMT-4-05-001/6
Punto de inflamación Cleveland en cementos asfálticos	255°C	232 mínimo; de las N-CMT-4-05-001/06
Punto de reblandecimiento en cementos asfálticos	47°C	entre 48 y 56; N-CMT-4-05-001/06
Ductilidad de cementos asfálticos	141 cm	50 mínimo; N-CMT-4-05-001/06

Tabla.- 18.- Tabla de resultados de las pruebas.

Capítulo 4

DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

4.1. Introducción.

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

El contenido óptimo de asfalto es aquel que produce la mejor combinación de resistencia estructural y durabilidad de la carpeta. Dentro de los límites prácticos se considera que a mayor película de asfalto corresponde a una mayor resistencia al intemperismo y a la abrasión producida por los vehículos.

Por lo que se refiere a la resistencia estructural, consideramos que para un mismo agregado pétreo, al ir aumentando la película de asfalto, encontramos 3 condiciones:

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

La determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico se hace mediante el método más utilizado en nuestro país conocido como **Método Marshall**.

4.2. Contenido mínimo de cemento asfáltico.

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

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

En este método el análisis de los parámetros mencionados permite conocer o controlar las condiciones más favorables de impermeabilidad y durabilidad de la mezcla, con lo cual se pueden fijar márgenes para evitar exceso o escasez de aglutinante.

El valor de estabilidad es un índice de la resistencia a la carga, en N (Kgf) de la mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad; ambas propiedades ayudan por otra parte a juzgar las características de forma y superficie del material pétreo que integra la mezcla.

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

Para el cálculo del contenido óptimo de cemento asfáltico mediante el Método Marshall es necesario primero conocer el contenido mínimo de cemento asfáltico para cubrir las partículas del material pétreo en la elaboración de la mezcla, para lo cual existen 2 métodos los cuales son:

1. *Superficie Específica.*
2. *Formula Analítica de la S.C.T.*

El contenido mínimo del cemento asfáltico es la cantidad expresada en por ciento con respecto al peso del material pétreo para cubrir con una película de asfalto de espesor definido a cada una de las partículas que componen el material pétreo.

De acuerdo al resultado de la granulometría del material pétreo, se opto 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 en función de la granulometría, por lo que la granulometría del material es indispensable.

Este procedimiento se basa en la estimación aproximada de la superficie total del material pétreo en función de la granulometría.

Conocida el área total para 1 kg de material, se obtiene el contenido mínimo de asfalto, multiplicando dicho valor por el índice asfáltico.

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

Tabla.- 19.- Tabla de constate de área.

Material	Índice Asfáltico
Gravas o arenas de rio o materiales redondeados de baja absorción.	0.0053
Gravas angulosas o redondeadas, trituradas, de baja absorción.	0.006
Gravas angulosas o redondeadas, de alta absorción y rocas trituradas de media absorción.	0.007
Roca triturada de alta absorción.	0.008

Tabla.- 20.- Tabla de índice asfáltico.

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 19, 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 20, de acuerdo a las características que tiene nuestro material pétreo.

Banco de Materiales "Los Nogales" Maravatio, Mich.	
N° de Malla	% de Material que Pasa
1 1/2"	100
1"	96.5
3/4"	82.1
1/2"	69.5
3/8"	58.6
1/4"	43.3
N° 4	35.8
N° 10	21.4
N° 20	16.0
N° 40	11.4
N° 60	8.6
N° 100	7.0
N° 200	5.3

Tabla.- 21.- Tabla de composición granulométrica del banco de materiales.

Tamaño Material		% En Peso	Contante de Área M ² /Kg	Superficie Parcial M ² /kg	Índice Asfáltico Kg/ M ²	Contenido	% De Contenido	% De Contenido Mínimo
Pasa En	Retenido En							
1 1/2"	3/4"	17.9	0.27	0.0483	0.007	0.00033833	3.95	4.95
3/4"	N° 4	46.3	0.41	0.1898	0.007	0.0013287		
N° 4	N° 40	24.4	2.05	0.4998	0.007	0.00349876		
N° 40	N° 200	6.1	15.38	0.9361	0.007	0.00655267		
Pasa N° 200		5.3	53.3	2.8433	0.007	0.01990337		
Total		100.0		4.5174		0.03162183		

Tabla.- 22.- Tabla de cálculo del contenido mínimo de asfalto.

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

El resultado que se obtuvo en este análisis es de 4%, pero según la norma hay que incrementar este porcentaje en un 1%, quedando como **contenido mínimo de asfalto de 5%**.

Por tanto el Contenido Mínimo de Asfalto es de 5%

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

N° Malla		% Retenido Parcial	Peso Total de la Muestra en Gramos	Peso del Material en Gramos
Pasa	Retiene			
1 1/2"	1"	3.5	1200	42.03
1"	3/4"	14.4	1200	172.8
3/4"	1/2"	12.6	1200	151.2
1/2"	3/8"	10.9	1200	130.76
3/8"	1/4"	15.3	1200	183.63
1/4"	N° 4	7.5	1200	89.98
N° 4	N° 10	14.4	1200	172.71
N° 10	N° 40	10.0	1200	119.87
N° 40		11.4	1200	137.05
Total		100.0		1200.00

Tabla.- 23.- Tabla de composición granulométrica para cada espécimen.

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

% de C.A	Grs. De C.A
5	60
5.5	66
6	72
6.5	78
7	84
7.5	90

Tabla.- 24.- Tabla de gramo de C.A por cada %.

4.3. Contenido óptimo de cemento asfáltico.

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

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

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

Para este estudio se utilizó el **Método de Marshall**.

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

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

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

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

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

Para realizar el *Método Marshall*, primero conforme al contenido mínimo se hacen muestras (pastillas espécimen) sumando de .5% a contenido mínimo hasta llegar a tener 6 tipos diferentes de contenido contemplando el contenido mínimo, y de cada tipo diferente de contenido de asfalto se realizan tres muestras (pastillas).

% de C.A	Grs. De C.A	Peos del Material Pétreo (grs)
5	60	1200
5.5	66	1200
6	72	1200
6.5	78	1200
7	84	1200
7.5	90	1200

Tabla.- 25.- Tabla de contenido de C.A por cada muestra (pastilla).



Fig.- 42.-Material de 1200 grs para las pastillas.



Fig.- 43.-Calentamiento del material.



Fig.- 44.-Vertido de de cemento asfáltico.



Fig.- 45.-Mezclado del material.



Fig.- 46.-Vertido del material a la compactadora.



Fig.- 47.-Compactacion de la mezcla.



Fig.- 48 y 49.-Muestras o pastillas de mezcla asfáltica a diferentes % de cemento asfáltico.

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

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

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

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

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

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

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

5%

	Peso Material	contenido mínimo 5%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina
1	1200	0.05	60	0	0	0	0	0	0
2	1200	0.05	60	0	0	0	0	0	0
3	1200	0.05	60	0	0	0	0	0	0

5.5%

	Peso Material	contenido mínimo 5.5%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina
1	1200	0.055	66	0.905	0.905	0.905	0	7.5	0
2	1200	0.055	66	1.038	1.004	0.4624	180	8	0.21
3	1200	0.055	66	0.618	0.618	0.618	0	6	0

6%

	Peso Material	contenido mínimo 6%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina
1	1200	0.06	72	0.961	0.929	0.4236	60	7	0.21
2	1200	0.06	72	0.992	0.96	0.4299	80	7.5	0.29
3	1200	0.06	72	0.959	0.934	0.4251	70	7	0.29

6.5%

	Peso Material	contenido mínimo 6.5%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina
1	1200	0.065	78	0.996	0.966	0.4437	65	7.2	0.24
2	1200	0.065	78	1.066	1.042	0.4665	60	7.5	0.24
3	1200	0.065	78	1.002	0.971	0.4481	70	7.4	0.29

7%

	Peso Material	contenido mínimo 7%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina
1	1200	0.07	84	1.026	0.996	0.4623	55	7.5	0.35
2	1200	0.07	84	1.026	0.994	0.455	110	7.5	0.33
3	1200	0.07	84	1.109	1.078	0.5087	110	7.8	0.38

7.5%

	Peso Material	contenido mínimo 7.5%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina
1	1200	0.075	90	1.07	1.042	0.4812	70	7.5	0.33
2	1200	0.075	90	1.014	0.981	0.4445	100	7	0.34
3	1200	0.075	90	1.052	1.029	0.4828	60	7.5	0.4

Tabla.- 26.-Datos de las pastillas y lectura de la prueba (Marshall).



Fig.- 50.-Peso de la pastilla en aire.



Fig.- 51.-Altura de la pastilla.



Fig.- 52.-Sellado de la pastilla con cera.



Fig.- 53.-Peso de la pastilla con cera.



Fig.- 54.-Peso de la pastilla en agua.



Fig.- 55.-Baño de agua de la pastilla a 60°.



Fig.- 56.-Prueba de de la pastilla (Marshall).



Fig.- 57.-Prueba de de la pastilla (Marshall).



Fig.- 58.-Maquina de prueba Marshall.



Fig.- 59.-Pastillas probadas en la prensa Marshall.



Fig.-60.-Deformación de las pastillas después de la prueba.



Fig.-61 y 62.-Deformación de las pastillas después de la prueba Marshall.

DATOS DE LA MEZCLA										
ENSAYE	PASTILLA	% C.A. CALCULADO	Espécimen + parafina en aire	Espécimen sin parafina en aire	Espécimen + parafina en agua	Lectura Micrómetro (q)	Altura del Espécimen (cms)	Factor de Corrección	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)
1	1	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
	2	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
	3	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.08
2	1	5.50	905.00	905.00	905.00	0.00	7.50	0.74	0.00	2.08
	2	5.50	1,038.00	1,004.00	462.40	18.00	8.00	0.76	2.10	82.66
	3	5.50	618.00	618.00	618.00	0.00	6.00	1.09	0.00	2.08
3	1	6.00	961.00	929.00	423.60	150.00	7.00	0.85	2.10	683.37
	2	6.00	992.00	960.00	429.90	170.00	7.50	0.74	2.90	775.58
	3	6.00	959.00	934.00	425.10	160.00	7.00	0.85	2.90	729.44
4	1	6.50	996.00	966.00	443.70	190.00	7.20	0.83	3.10	868.03
	2	6.50	1,066.00	1,042.00	466.50	185.00	7.50	0.74	3.11	844.90
	3	6.50	1,002.00	971.00	448.10	195.00	7.40	0.80	3.10	891.17
5	1	7.00	1,026.00	996.00	462.30	200.00	7.50	0.74	3.50	914.33
	2	7.00	1,026.00	994.00	455.00	285.00	7.50	0.74	3.30	1309.43
	3	7.00	1,109.00	1,078.00	508.70	185.00	7.80	0.76	3.80	844.90
6	1	7.50	1,070.00	1,042.00	481.20	250.00	7.50	0.74	3.30	1146.47
	2	7.50	1,014.00	981.00	444.50	235.00	7.00	0.85	3.40	1076.73
	3	7.50	1,052.00	1,029.00	482.80	240.00	7.50	0.74	3.60	1099.97

Tabla.- 27.-Datos de las pastillas y lectura de la prueba (Marshall) y cálculos.

OBSERVACIONES:

1.- La mezcla asfáltica presenta los requisitos de calidad siguientes:, para el punto 7.5% de EKBE (PG 64 -22) el cual se puede recomendar como contenido optimo de asfalto.

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

CONCEPTO	NORMA SCT.	ENSAYE
ESTABILIDAD	815.8 Kg Mínimo	859.20 Kg
FLUJO	2.0 a 3.5 mm	3.43 mm
%VACIOS	3.0 a 5.0 %	6.16 %
%V.A.M.	15.0 % Mínimo	18.81 %
P.V.M.	SIN NORMA	1,876.47 Kg/m ³
%V.A.F.	65 - 75%	67.41 %

Tabla.- 28.-Resultados del cálculo Marshall (optimo).

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

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

En el flujo estamos en el rango permitido de acuerdo a la norma.

El % de vacios de aire, de acuerdo al resultado obtenido estamos fuera del rango permitido de la norma por lo que esto se debe al material pétreo.

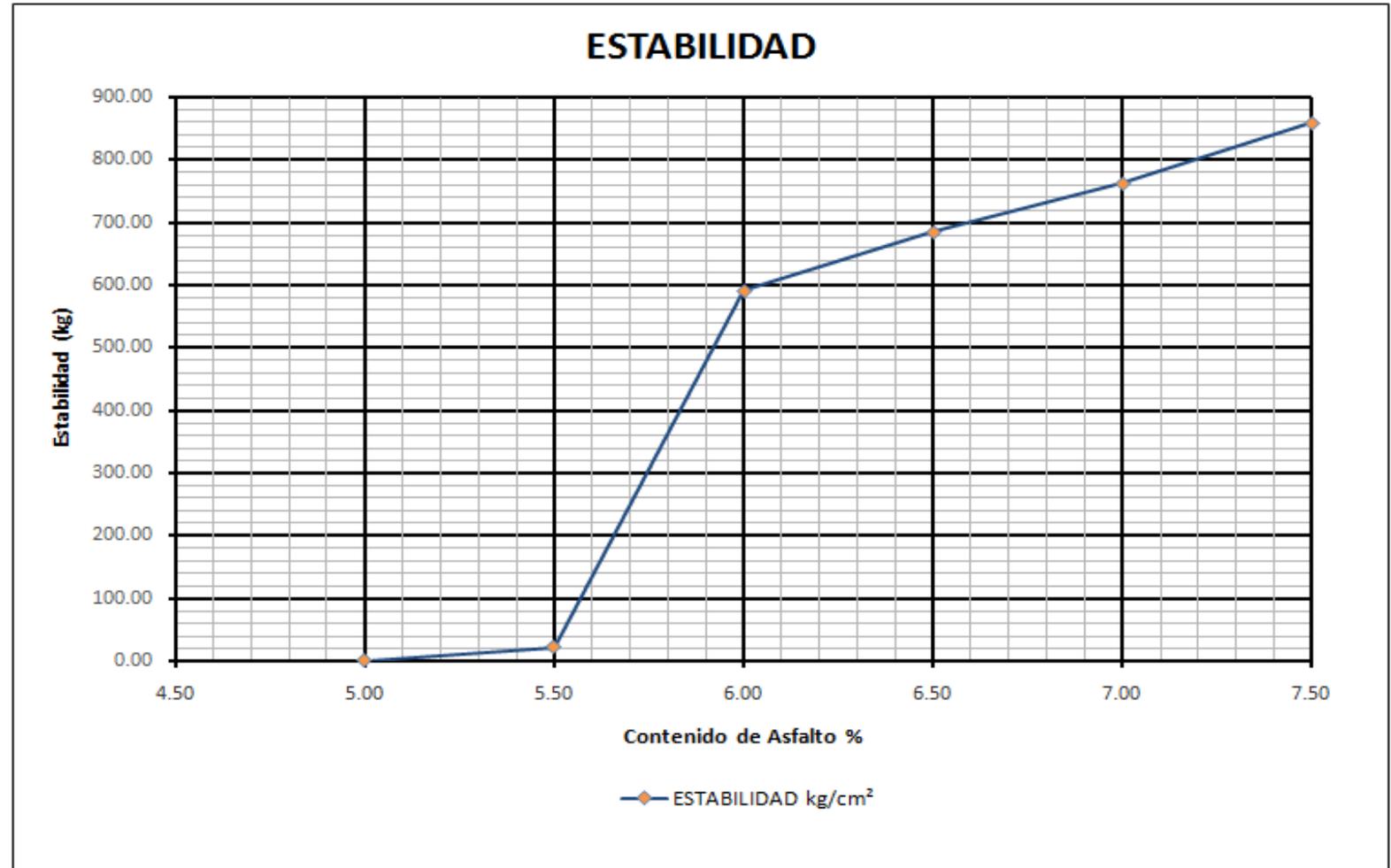
El % de V.A.M. (vacío de agregado mineral), el porcentaje que nos pide el reglamento como mínimo es del 15% por lo que con nuestro espécimen es aceptable el resultado de la prueba.

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

El porcentaje de V.A.F. (vacíos llenos por asfalto), está dentro de lo que requiere la norma.

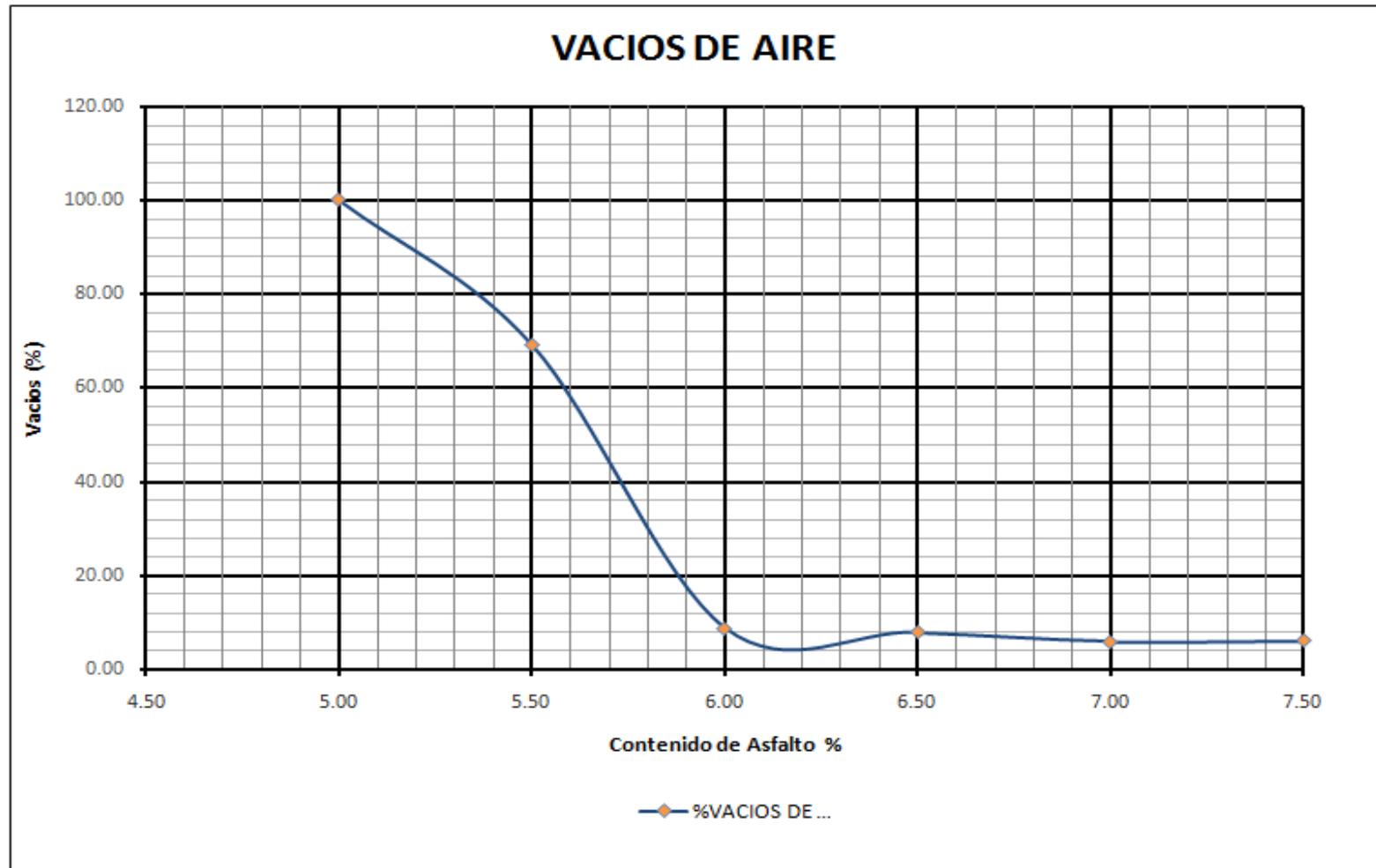
De acuerdo con las condiciones que nos marca la norma de la SCT el porcentaje de **7.5%** es el óptimo porcentaje de cemento asfáltico para una mezcla en caliente.

ESTABILIDAD kg/cm ²	
%C.A.	Estabilidad
5.00	0.00
5.50	22.21
6.00	591.61
6.50	684.76
7.00	762.57
7.50	859.20



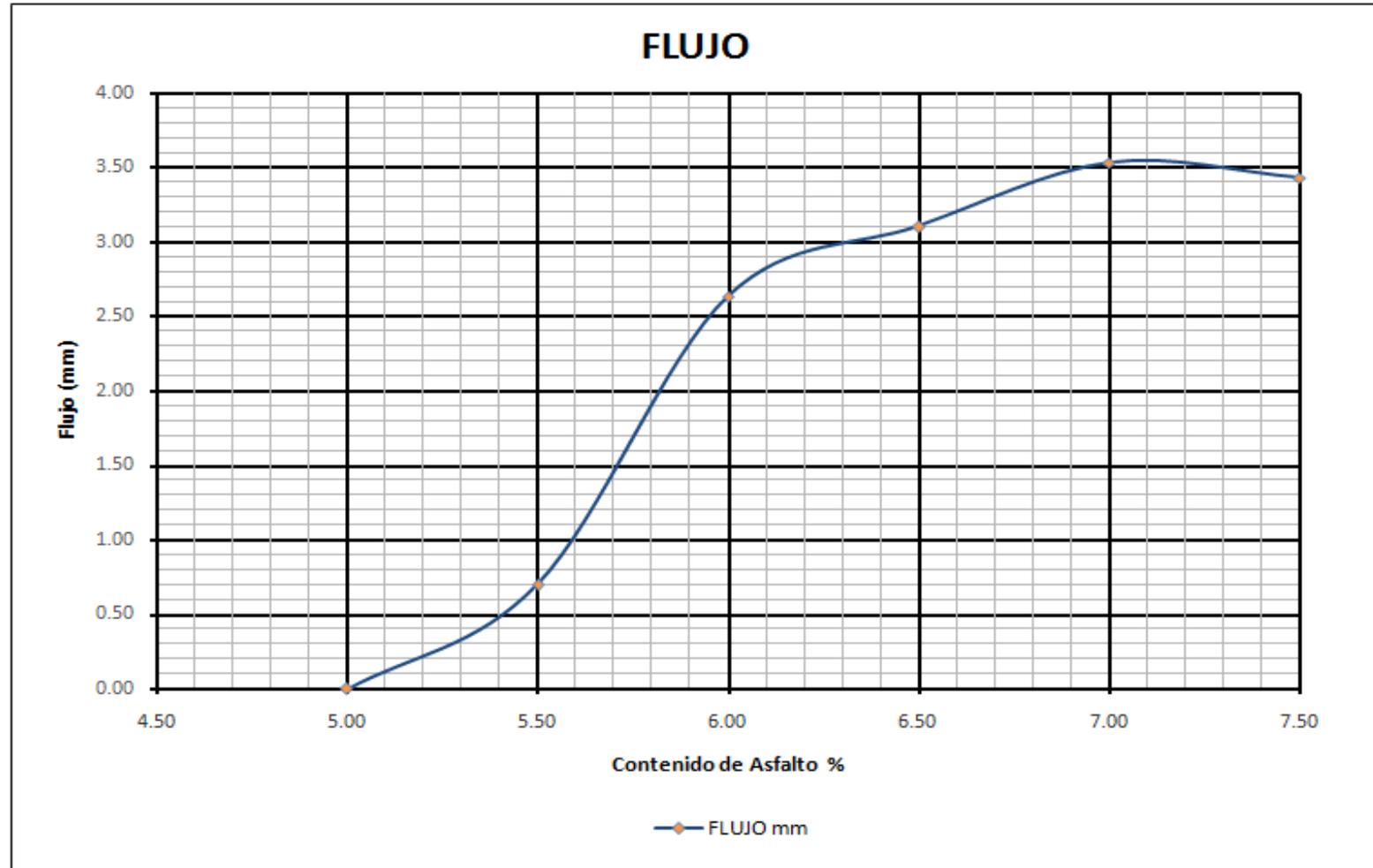
Grafica 2.- Grafica de estabilidad de la prueba Marshall.

%VACIOS DE AIRE	
%C.A.	% de Vacios
5.00	100.00
5.50	69.25
6.00	8.71
6.50	7.84
7.00	5.90
7.50	6.16



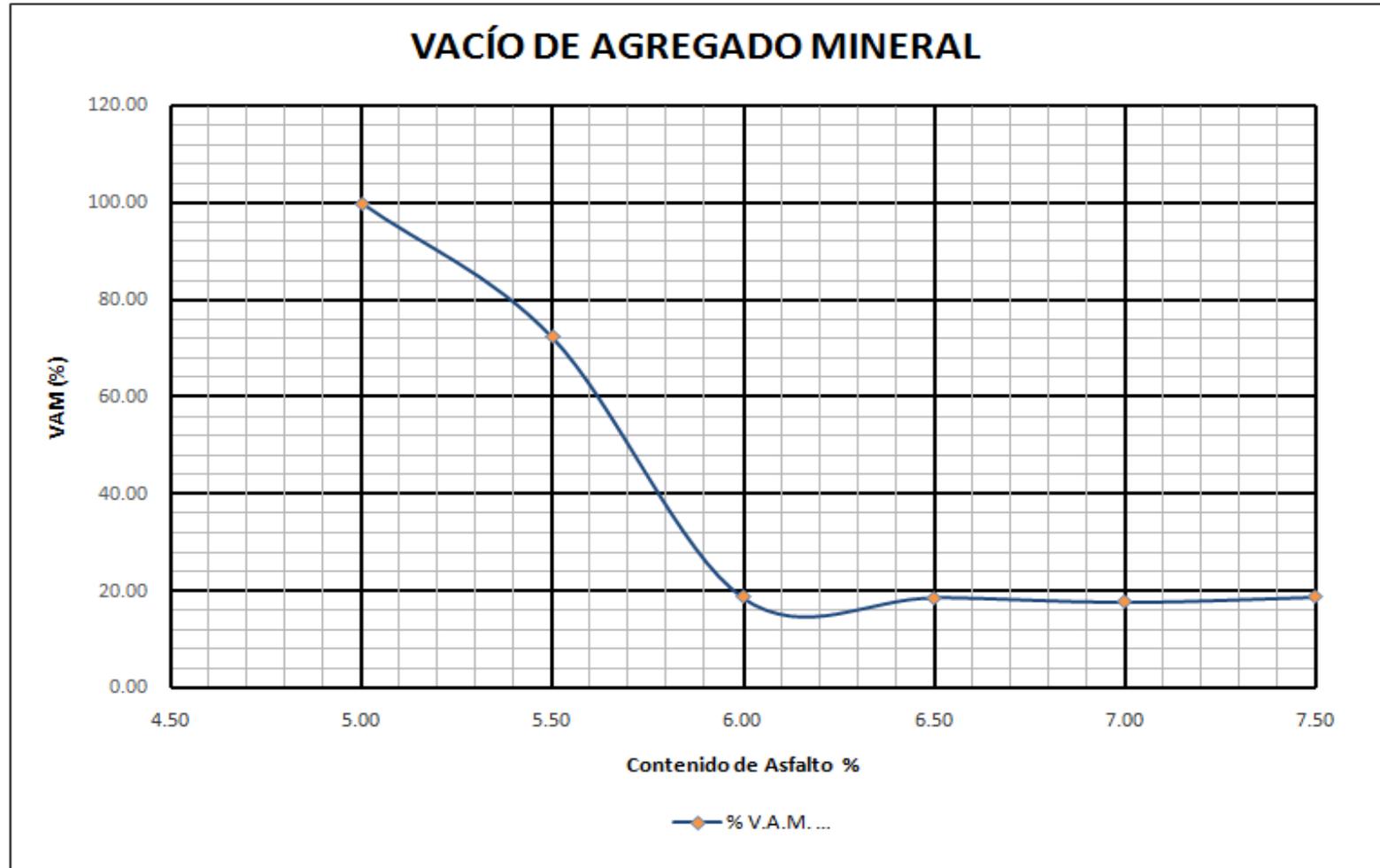
Grafica 3.- Grafica de vacios de aire de la prueba Marshall.

FLUJO mm	
%C.A.	Flujo mm
5.00	0.00
5.50	0.70
6.00	2.63
6.50	3.10
7.00	3.53
7.50	3.43



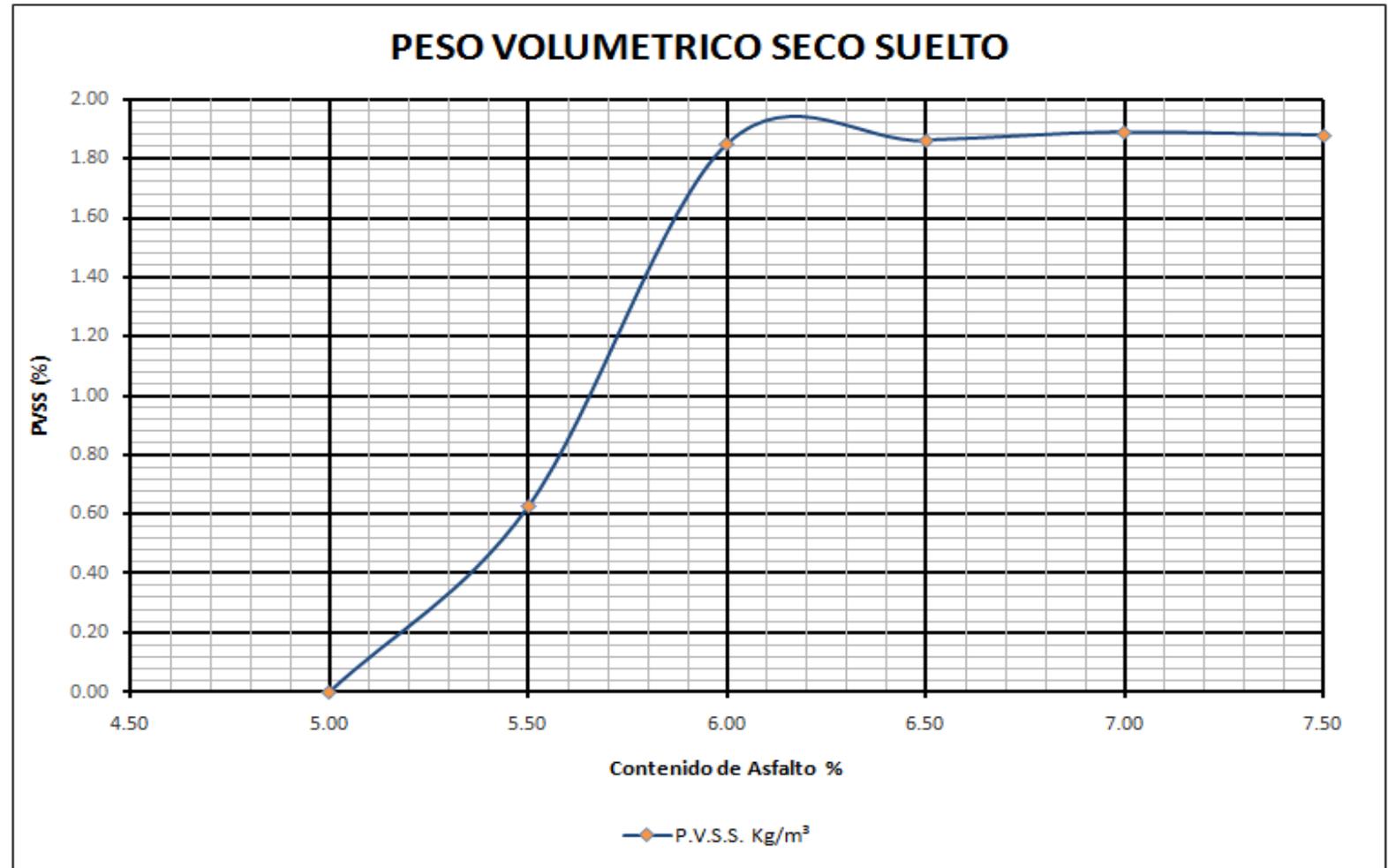
Grafica 4.- Grafica de flujo de la prueba Marshall.

% V.A.M. (VACIO DE AGREGADO MINERAL)	
%C.A.	% V.A.M.
5.00	100.00
5.50	72.40
6.00	18.82
6.50	18.80
7.00	17.85
7.50	18.81



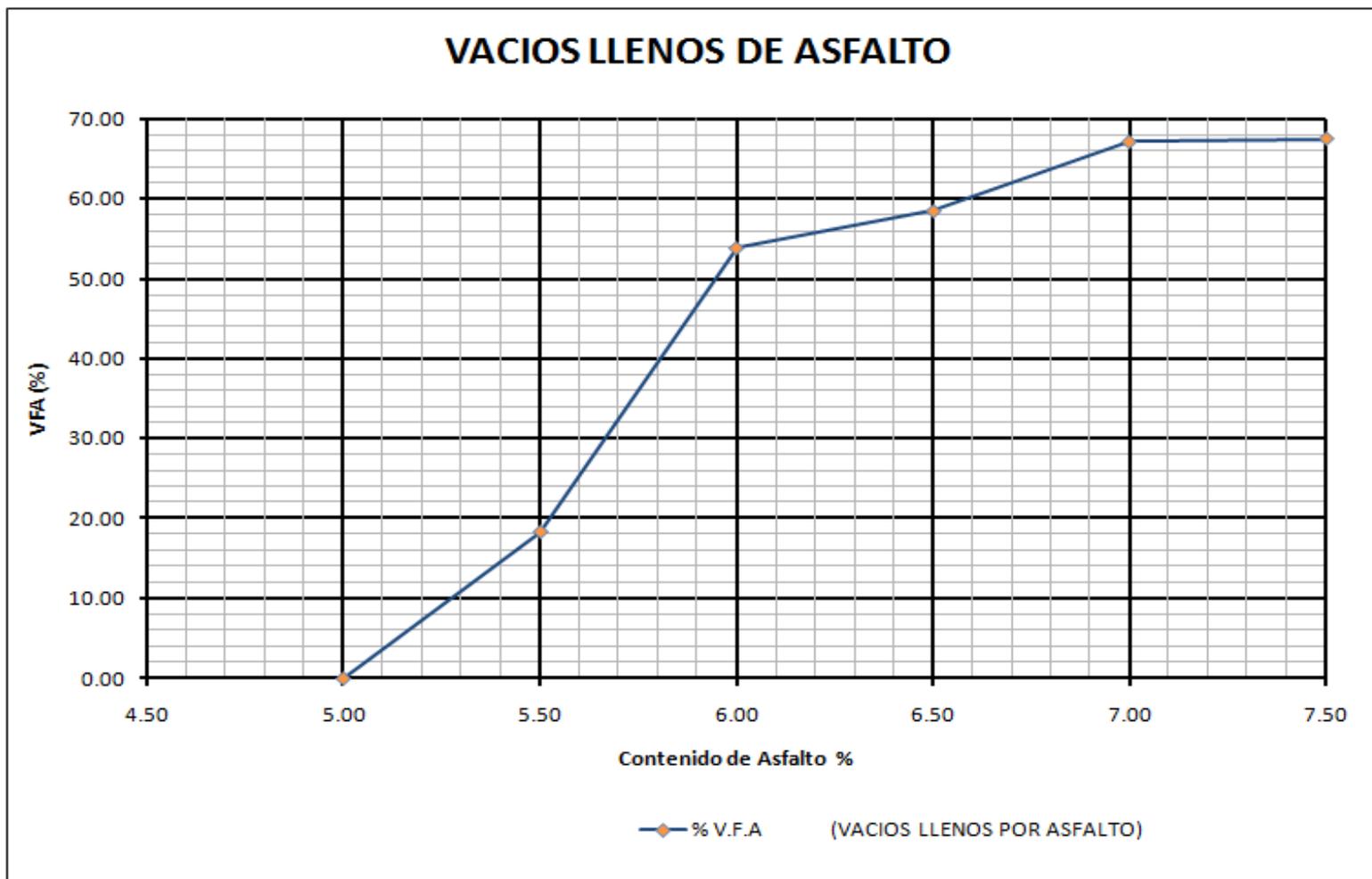
Grafica 5.- Grafica de vacío de agregado mineral de la prueba Marshall.

P.V.S.S. Kg/m ³	
%C.A.	PVSS
5.00	0.00
5.50	0.63
6.00	1.85
6.50	1.86
7.00	1.89
7.50	1.88



Grafica 6.- Grafica de pesos volumétrico seco suelto de la prueba Marshall.

% V.F.A (VACIOS LLENOS POR ASFALTO)	
%C.A.	% VFA
5.00	0.00
5.50	18.32
6.00	53.80
6.50	58.51
7.00	67.12
7.50	67.41



Grafica 7.- Grafica de vacios llenos de asfalto de la prueba Marshall.

Capítulo 5

MEZCLA ASFÁLTICA SOMETIDA A CONGELAMIENTO

5.1. Introducción.

En este capítulo se hará una comparativa entre mezclas asfálticas convencional y esa misma mezcla sometida a congelamiento, el objeto primordial es el de buscar una comparación de características mecánicas de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica sometida a congelamiento, con la finalidad de conocer su comportamiento.

5.2. Justificación.

El objetivo de este trabajo es saber el comportamiento de una mezcla asfáltica sometida a bajas temperaturas, ya que en el país existen regiones donde las temperaturas son cercanas a los 0 ° C o por debajo.

De igual forma en el país existen lugares en donde horas del día las temperaturas rondan los 60°C en la superficie de rodadura o carpeta y en altas horas de la noche se presentan temperaturas cercanas a los 0°C.

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

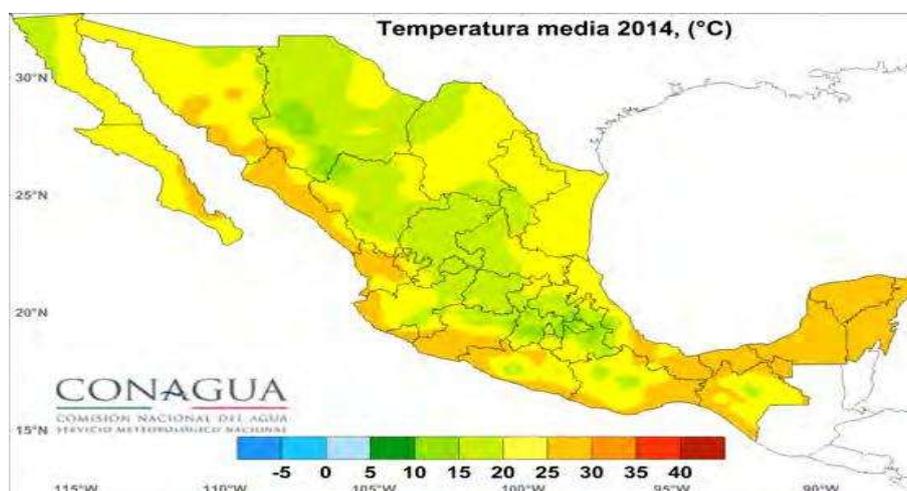


Fig.-63.-Temperatura media anual 2014 (CONAGUA).

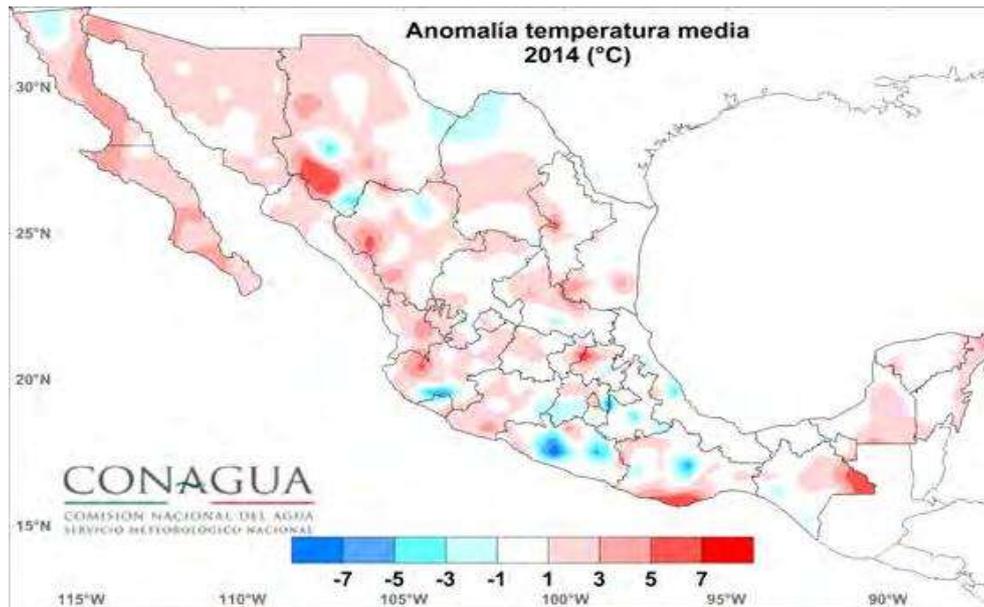


Fig.-64.-Anomalías de temperatura media anual 2014. Con información disponible en diciembre del 2014 en el Sistema de Información Hidroclimatológica (SIH) de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos- CONAGUA.

5.3. Elaboración de especímenes.

El método Marshall se emplea para el proyecto y control de mezclas elaboradas con un tamaño máximo de agregado pétreo y cemento asfáltico en plantas estacionarias en caliente.

El procedimiento consiste fundamentalmente en elaborar especímenes cilíndricos como ya antes mencionado.

La estabilidad es un valor de índice de resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada, que es que se busca obtener para saber la resistencia que obtuvo el espécimen o pastilla sometida a temperatura de 0°C.

Para la elaboración de estos especímenes se sigue el mismo método de la prueba Marshall, tomando en cuenta que el porcentaje de contenido de asfalto tiene que ser el de 7.5% (90 grs.) ya que este es el óptimo.

A continuación se describirá un el procesos de la elaboración de los especímenes o pastillas.

- ◆ Como primer paso se pone a calentar el material pétreo, el asfalto y los moldes cilíndricos, esto para facilitar el mejor manejo del asfalto y para la adherencia del asfalto con el material pétreo.
- ◆ Una vez ya calentado el materia pétreo a una temperatura aproximada a los 100-150°C, se vierte a una charola y colocada en el fuego, para mantener caliente el material, mezclando así bien el material pétreo y el contenido de asfalto óptimo (7.5%).

- ◆ Ya teniendo una mezcla homogénea, en donde las partículas de material pétreo estén cubiertas por el asfalto, se procede a vaciar esta mezcla en el molde cilíndrico, llenado un aproximado de 2/3 del molde.
- ◆ Una vez teniendo el molde con la mezcla asfáltica se procede a compactar con la maquina, aplicando una serie de 75 golpes por cada lado de la pastilla.
- ◆ Una vez de a ver aplicado los golpes se desmonta del molde y se ponen a que se enfriar a temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 2$).



Fig.-65.-Calentamiento de moldes y material pétreo.



Fig.-66.-Vertido del % de contenido asfáltico (optimo).



Fig.-67.-Mezclado del material pétreo y asfalto.



Fig.-68.-Vertido de la mezcla al molde para compactación.



Fig.-69.-Compactación de la mezcla.



Fig.-70.-Enfriado de las pastillas a temperatura ambiente.

5.4. Congelamiento de Especímenes.

El congelamiento de los espécimen se realizo a una temperatura de 0°C, esto se realizo en tres etapas que es a 24 hrs, 48 hrs y 72 hrs.

Después de que se secan los especímenes, una serie de 3 pastillas o espécimen se utilizaron para la prueba de control, otra serie de 3 se puso a congelan a 0°C durante 24 hrs, otra serie de 3 se pujo a congelar a 0°C durante 48 hrs y la última serie de 3 a 0°C durante 72 hrs.



Fig.-71.-Cogelado de las pastillas a temperatura 0°C.



Fig.-72.-Pastillas separadas en series de 3.

La prueba de control es el parámetro de referencia, la cual se realizó a temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 2$) y de acuerdo a las especificaciones del diseño Marshall.

Prueba de Control	Peso Material	contenido Optimo 7.5%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina	
	1	1200	0.075	90	0.974	0.948	0.440	120	7.5	0.33
	2	1200	0.075	90	0.966	0.943	0.4382	160	6.8	0.34
	3	1200	0.075	90	0.921	0.892	0.404	150	6.8	0.4

Tabla.- 29.-Datos del espécimen de la prueba de control del método Marshall (óptimo).

Datos del espécimen sometido a congelamiento a una temperatura de 0°C , durante un tiempo de 24 hrs.

A 24 Hrs. De Congelamiento. (0°C)	Peso Material	contenido Optimo 7.5%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina (Kg/cm^2)	
	1	1200	0.075	90	0	0.939	0	45	7	230
	2	1200	0.075	90	0	0.943	0	49	7.2	220
	3	1200	0.075	90	0	0.940	0	50	7	200

Tabla.- 30.-Datos del espécimen congelado a 24 hrs. del método Marshall (óptimo).

Datos del espécimen sometido a congelamiento a una temperatura de 0 ° C, durante un tiempo de 48 hrs.

A 48 Hrs. De Congelamiento. (0° C)		Peso Material	contenido Optimo 7.5%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina (Kg/cm ²)
		1	2	3						
1	1200	0.075	90	0	0.943	0	50	6.9	220	
2	1200	0.075	90	0	0.953	0	52	6.9	215	
3	1200	0.075	90	0	0.951	0	60	7	215	

Tabla.- 31.-Datos del espécimen congelado a 48 hrs. del método Marshall (optimo).

Datos del espécimen sometido a congelamiento a una temperatura de 0 ° C, durante un tiempo de 72 hrs.

A 72 Hrs. De Congelamiento. (0° C)		Peso Material	contenido Optimo 7.5%	Peso Grs. del Asfalto	Peso de la Pastilla Con Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Sin Parafina (kg)	Peso de la Pastilla Con Parafina en Agua (kg)	Lectura de Micrómetro	Altura de la Pastilla (cm)	Lectura de Maquina (Kg/cm ²)
		1	2	3						
1	1200	0.075	90	0	0.962	0	130	7.2	280	
2	1200	0.075	90	0	0.956	0	140	7	270	
3	1200	0.075	90	0	0.952	0	160	7	240	

Tabla.- 32.-Datos del espécimen congelado a 72 hrs. del método Marshall (optimo).

5.5. Prueba de especímenes.

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

- ◆ Después de dejar que se secan las pastillas o especímenes durante 24 hrs se tomo una serie de 3 pastillas para realizar la prueba de control esto de acuerdo a lo especificado en la prueba Marshall, ya que a esta serie de pastillas se peso en aire, en agua y con parafina, parafina en agua y también su altura, para después probar su resistencia en la máquina y poder obtener un resultado de resistencia y poder compararlo con los especímenes congelados.
- ◆ Ya una vez realizado la prueba de control, se procedió a probar la serie de 3 pastillas congeladas a 24 hrs en 0°C, en la cual se peso en aire, se tomo su altura, y se procedió a probarla en la máquina de pruebas y así obteniendo unos datos para posteriormente realizar el cálculo de la resistencia que obtiene cada pastilla en esta serie.
- ◆ Después a las 48 hrs de congelamiento se probó la serie de 3 pastillas correspondientes, de la cual se obtuvo como ya mencionado su altura y su peso en aire, para posteriormente pasarla a la máquina de pruebas y obtener los datos necesarios para el cálculo de su resistencia.
- ◆ Después se probó la última serie de 3 pastillas congeladas a 72 hrs, en la cual se realizó el mismo procedimiento como ya antes mencionado, se peso y se tomo su altura, para posteriormente probarla en la máquina y obtener los datos necesarios para el cálculo de su resistencia total.

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



Fig.-73.-Peso de las pastillas.



Fig.-74.-Altura de las pastillas.



Fig.-75.-Serie de prueba de control.



Fig.-76.-Serie 1 a 24 hrs de congelamiento.



Fig.-77.-Serie 2 a 48 hrs de congelamiento.



Fig.-78.-Serie 3 a 72 hrs de congelamiento.



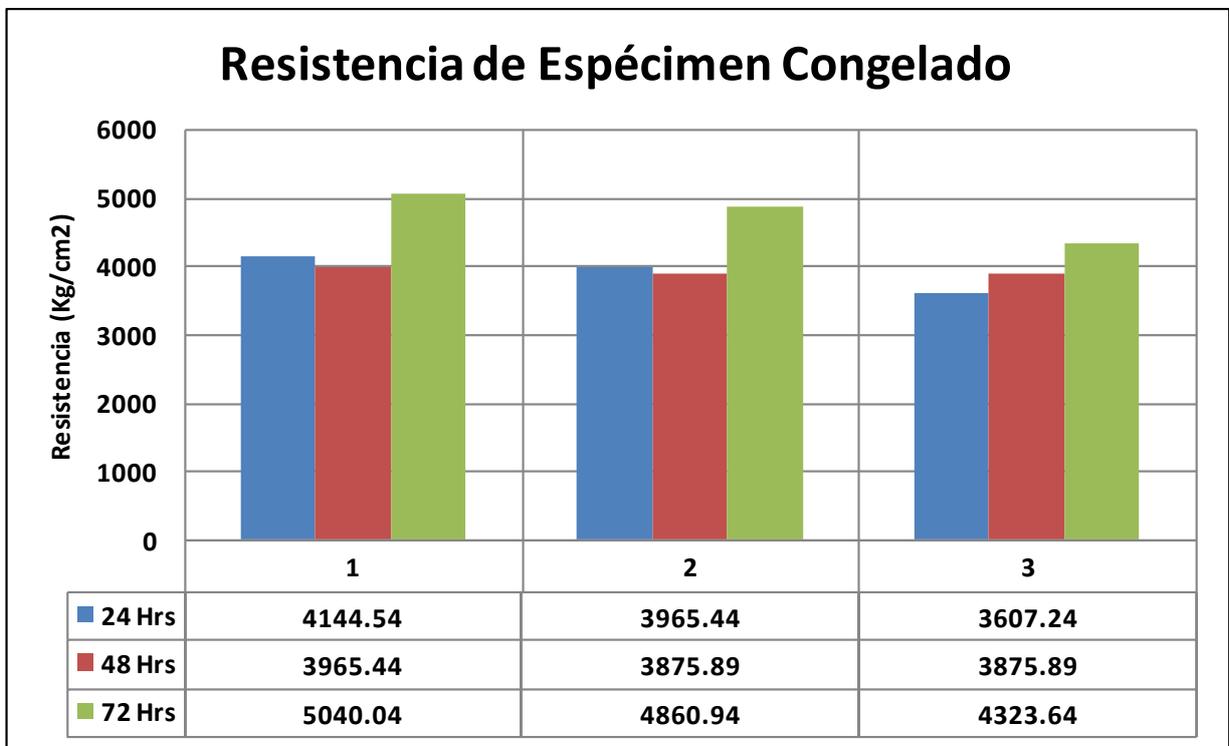
Fig.-79 y 80.-Prueba de las pastillas en la prensa.



Fig.-81 y 82.-Practura o falla de las pastillas o espécimen.

5.6. Resistencia de especímenes.

A continuación en la grafica siguiente se observan las resistencias obtenidas en el cálculo, para los especímenes sometidos a congelación a 0°C durante un periodo de 24 hrs, 48 y 72 hrs respectivamente.



Grafica 8.- Grafica de resistencia de los especímenes congelados.

5.7. Comparativo Especímenes.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las muestras congeladas y la de muestra de control, los especímenes congelados aumentan su resistencia un 500% aproximadamente en kg/cm^2 , ya que el promedio de resistencia de la prueba de control es de **859.20 kg/cm^2** y el promedio de los especímenes congelados es de **4184.30 kg/cm^2** .

Esto se debe a que los a que los vacíos que tiene las muestras en su interior se rellenan por la congelación y esto provoca que la pastilla funcione como si fuera una sola pieza única, por lo que repercute en que no haya vacíos por donde empiece a fracturarse y falle la muestra.

Por lo contrario las muestras congeladas mostraron una característica que llegaban a su punto máximo de resistencia y de ahí se fracturaba y decencia directamente hasta el valor cero, lo cual no su sucedió con la prueba de control, ya que esta llegaba a su punto máximo y empezaba a de descender su resistencia con un tendencia gradual.

5.8. Comparativo de Especímenes vs Mezcla convencional.

A 24 Hrs. De
Congelamiento. (0° C)

	contenido Optimo 7.5%	Resistencia (Kg/cm^2)	Resistencia (Kg/cm^2)
1	0.075	4144.54	848.38
2	0.075	3965.44	915.22
3	0.075	3607.24	813.97

Tabla.- 33.-Comparativo de resistencias entre la congelada a 24 hrs vs la de Control (convencional, optimo Marshall)

A 48 Hrs. De
Congelamiento. (0° C)

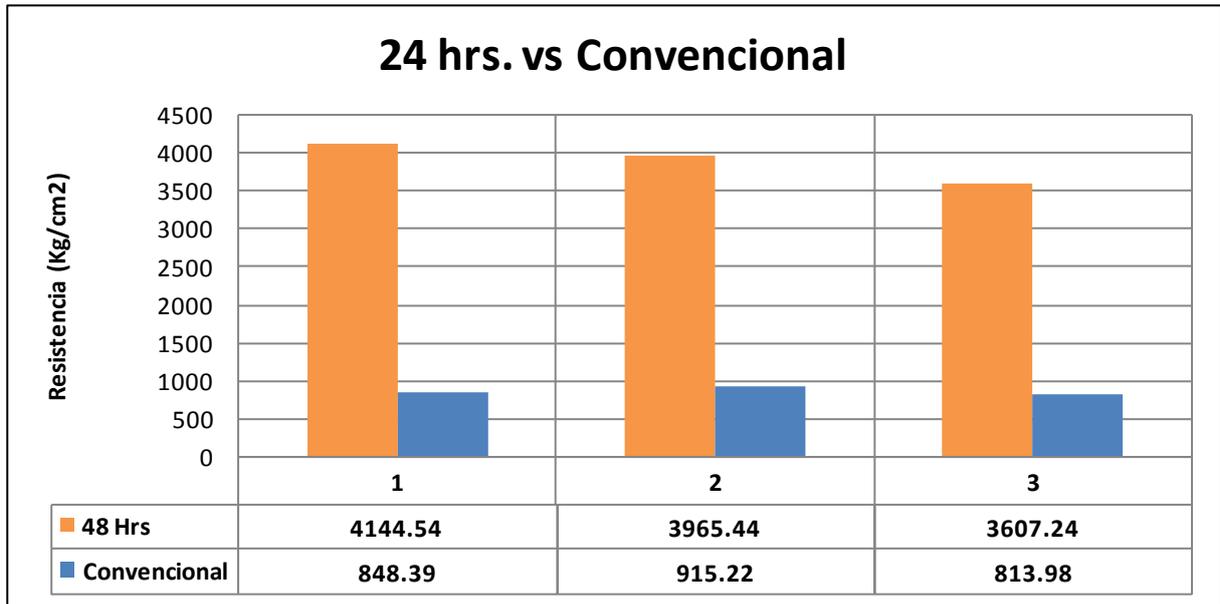
	contenido Optimo 7.5%	Resistencia (Kg/cm^2)	Resistencia (Kg/cm^2)
1	0.075	3965.44	848.38
2	0.075	3875.89	915.22
3	0.075	3875.89	813.97

Tabla.- 34.-Comparativo de resistencias entre la congelada a 48 hrs vs la de Control (convencional, optimo Marshall)

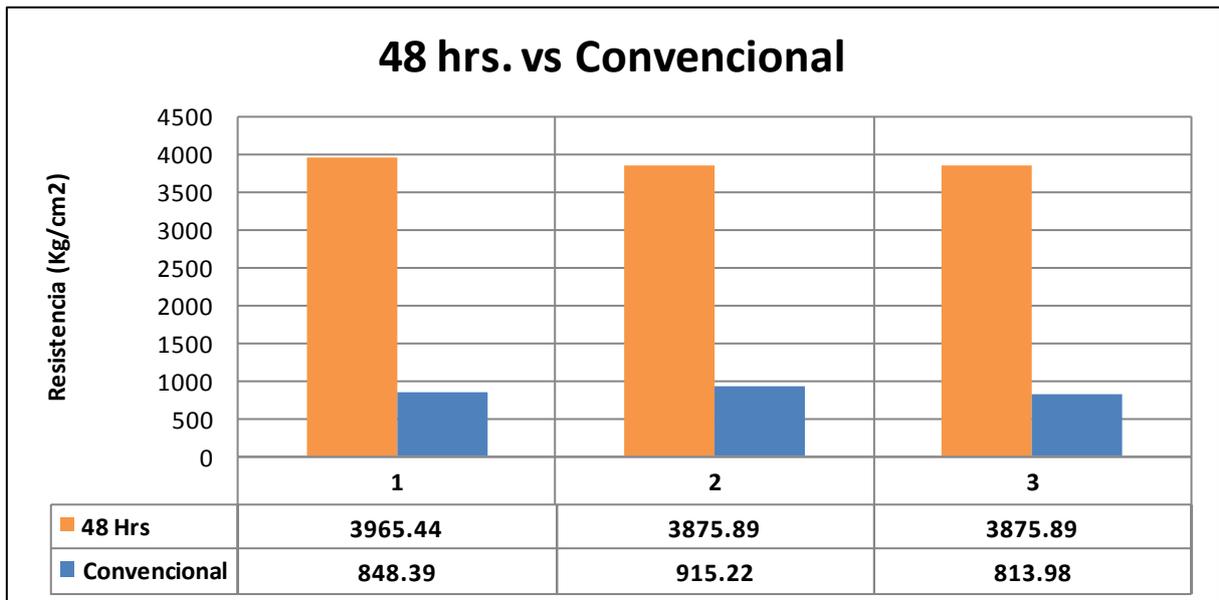
A 72 Hrs. De
Congelamiento. (0° C)

	contenido Optimo 7.5%	Resistencia (Kg/cm^2)	Resistencia (Kg/cm^2)
1	0.075	5040.04	848.38
2	0.075	4860.94	915.22
3	0.075	4323.64	813.97

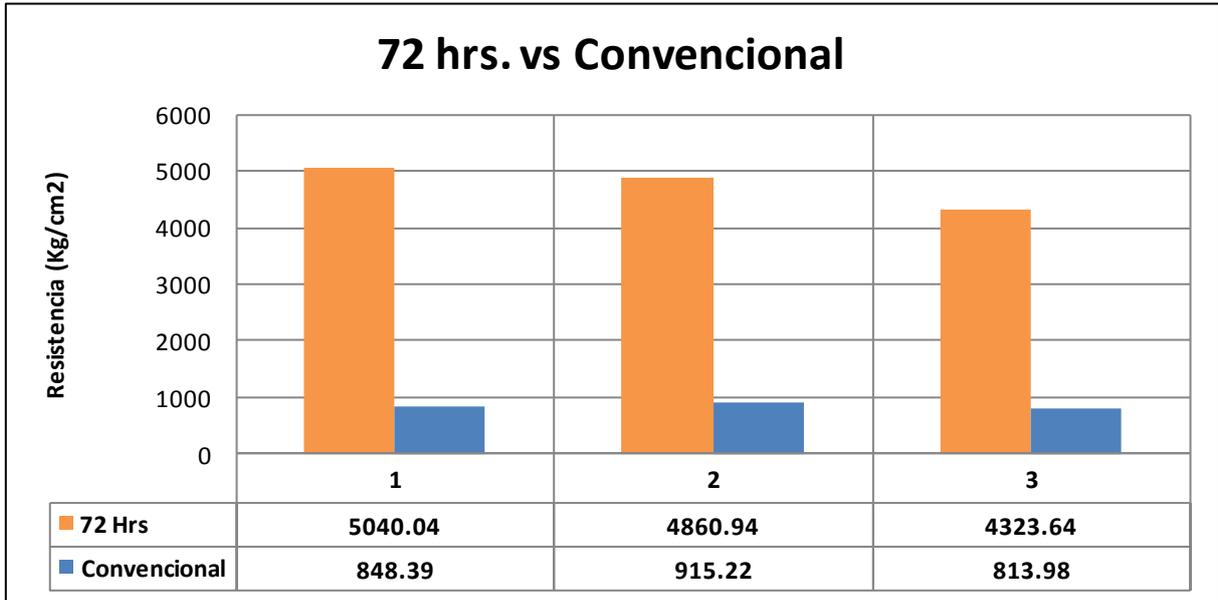
Tabla.- 35.-Comparativo de resistencias entre la congelada a 72 hrs vs la de Control (convencional, optimo Marshall)



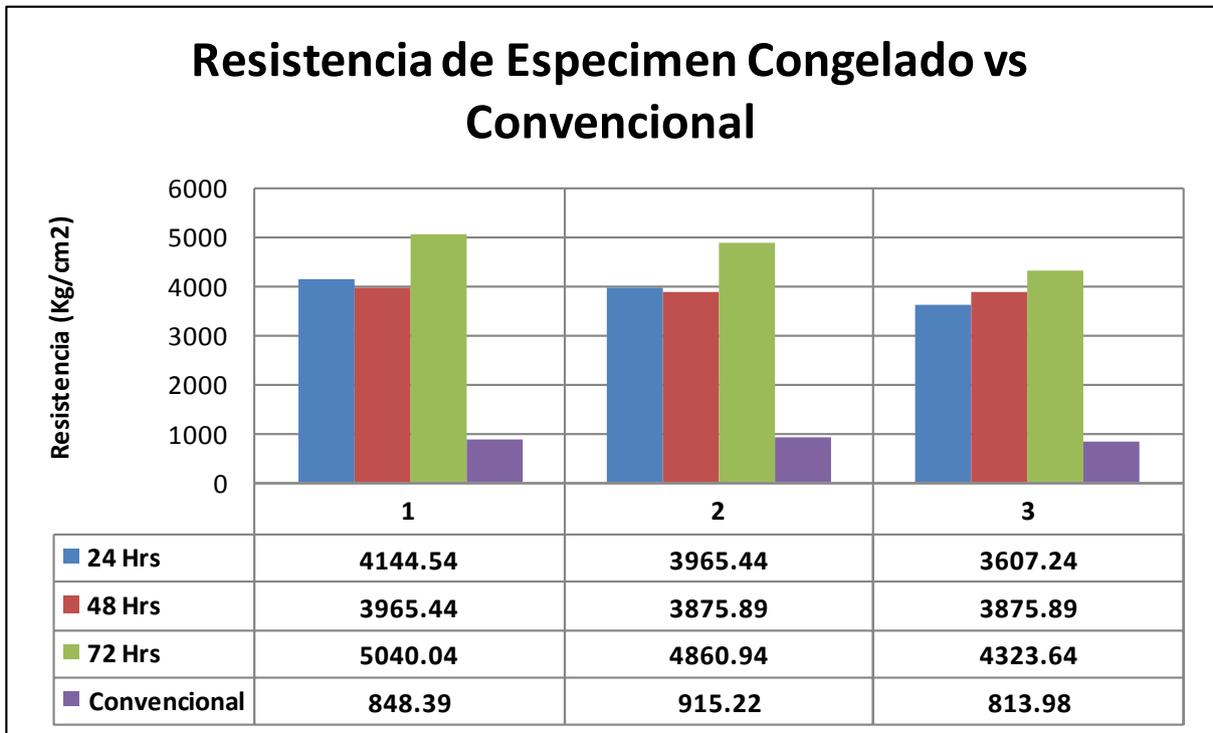
Grafica 9.- Grafica de resistencia de los especímenes congelados a 24 hrs vs Mezcla Convencional.



Grafica 10.- Grafica de resistencia de los especímenes congelados a 48 hrs vs Mezcla Convencional.



Grafica 10.- Grafica de resistencia de los especímenes congelados a 72 hrs vs Mezcla Convencional.



Grafica 11.- Grafica de resistencia de los especímenes congelados a 24, 48 y 72 hrs vs Mezcla Convencional.

5.9. Conclusiones Generales.

Como resultado de los trabajos de se obtienen las siguientes conclusiones.

Ya que en la elaboración de los especímenes tiene dos factores importantes que son: el agregado pétreo y el asfalto, se presenta la conclusión de cada uno de estos dos factores.

Por la parte del Agregado Pétreo, podemos decir que cumple con las características de las especificaciones para México, sin embargo cuenta con factores que sobresalen, esto se debe a que la muestra representativa que se extrajo del banco de materiales se obtuvo de un frente diferente al de otros muestreos, esto con la finalidad de ver si tenía las mismas características o similares al frente que se utiliza regularmente.

Ya que esta muestra que se utilizo para su estudio nos da como resultado que tiene buena granulometría, lo único que tiene diferente a otras muestras es que tiene una absorción del 3.3 % ya que el material tiene un gran porosidad y por consecuencia de esta porosidad su desgaste es del 31.46% un poco mayor a lo que especifica la norma que dice que como máximo debe tener un 30%.

Por lo que estas dos cosas afectan un poco a la mezcla asfáltica haciendo del contenido mínimo sea mayor de 4% que es el estándar a un 5% y que la resistencia disminuye por efecto de la baja densidad, que se relaciona por un alto contenido de porosidad en el material.

Pero en general es un buen agregado pétreo y se puede utilizar para las mezclas asfálticas, ya que este banco en la región de Maravatio el banco de materiales "Los Nogales" es el que se utilizan para efectos de construcción y mezclas asfálticas.

Y la otra lado que complementa la mezcla asfáltica es el Cemento Asfáltico, ya que se utilizo en estos especímenes fue el EKBE 64 -22 de la refinería de salamanca Guanajuato, del cual puedo decir que en buen producto para la realización de la mezcla asfáltica, dentro de las pruebas realizadas se encuentra que la propiedad que se encontró baja fue el punto de reblandecimiento ya que este se encuentra en 47° C y por norma debe de estar mayor o igual a 60° C, de lo cual este cemento asfáltico se puede utilizar para mezclas asfálticas.

En conclusión con respecto a este trabajo sobre una mezcla asfáltica sometida a congelamiento, puedo decir que los resultados fueron variados a los que se esperaban inicialmente, ya que se pensaba que al someterla a congelación la resistencia iba a resultar menor lo cual fue totalmente lo contrario, haciendo esto que aumentara su resistencia, pero su comportamiento al llegar máximo de su resistencia, esta presentaba la falla como un cristal que se fractura en diversas partes lo cual en este caso no da oportunidad de repararla, lo cual en este aspecto es muy importante que después de que falle tenga una fractura gradual y que de oportunidad a la reparación de la mezcla asfáltica.

Por lo cual yo incitaría a que esta investigación se le diera un seguimiento, para ver si con algún tipo de aditivo o un cambio de material se pudiera amortiguar la falla o fractura para que esta no sea tan abrupta y de oportunidad a las reparaciones futuras.

Referencias

- 1.- CTM. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES. (N-CMT-4-04/08)
Parte.- 4.- materiales para pavimentos.
Titulo.- 04.- materiales pétreos para mezclas asfálticas
- 1.1.- MMP. METODO DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (M-MMP-4-04-002/02)
Parte.- materiales para pavimentos
Titulo.- materiales pétreos para mezclas asfálticas
Capitulo.- granulometría de materiales pétreos para mezclas asfáltica
- 1.2.- MMP.- METODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (M-MMP-4-04-004/02)
Capitulo.- densidad relativa de materiales pétreos para mezclas asfálticas
- 1.3.- METODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (M-MMP-4-04-004/02)
Capitulo.- equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas
- 1.4.- METODO DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. (M-MMP-4-04-006/002)
Capitulo.- desgaste mediante la prueba de los Ángeles de materiales pétreos para mezclas asfálticas
- 2.- FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL MATERIALES ASFALTICOS (MANUAL DE PRUEVAS).
- 3.- FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL, LABORATORIO DE MATERIALES “ING. LUIS SILVA RUELAS”. (SECCION DE MATERIALES ASFALTICOS).
- 4.- <http://www.amaac.org.mx/>
- 5.- <http://www.e-asfalto.com/>
- 6.- Tesis de licenciatura “análisis comparativo del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica elaborada en caliente por el método Marshall con sustitución de agregados finos por cemento portland”; José César Díaz Benjamín.
- 7.- Reporte del Clima en México Anual 2014 (CONAGUA), Coordinación General del servicio Meteorológico Nacional, Gerencia de Meteorología y Climatología, Subgerencia de Pronósticos a Mediano y Largo Plazo. (<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/analisis/reporte/Anual2014.pdf>)