



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DENSA CON
AGREGADO PÉTREO DE ORIGEN VOLCÁNICO RESPECTO A
UNA MEZCLA DENSA CON AGREGADO PÉTREO
BASÁLTICO, ELABORADAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO
MARSHALL”.**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

P.I.C. ANTONIO CRUZ GARRIDO

ASESOR:

DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL MARIO SALAZAR AMAYA

CO - ASESOR:

MAESTRO EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE ISAID CAMPA DOMÍNGUEZ

MORELIA MICHOACAN AGOSTO 2016

Carta de aceptación de tema de tesis

Carta de impresión de trabajo

Agradecimientos

- **A DIOS**

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

- **A MIS PADRES**

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

- **A MIS HERMANOS**

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

- **A MIS AMIGOS**

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

- **A MI ASESOR**

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

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPITULO 1:	13
ANTECEDENTES	13
1.1.- Antecedentes.	14
1.2.- Historia del Asfalto.....	14
1.3.- ¿Qué es un asfalto?.....	15
1.4.- Composición del Asfalto.....	17
1.5.-Obtención de Asfaltos en Refinerías	18
1.5.1.- Destilación Primaria:	19
1.5.2.- Destilación al Vacío.....	19
1.6.- Características del Asfalto.....	20
1.7.- Procesos del Asfalto.....	20
1.7.1.- Proceso Químico.....	20
1.7.2.- Proceso Físico.	20
1.8.- Infraestructura carretera en México.....	21
CAPITULO 2:	23
MATERIAL PETREO	23
2.1.- Material pétreo	24
2.2.- Definición de material pétreo.....	25
2.3.- Tipo de material empleado.	26
2.3.1.- Material pétreo volcánico.....	26
2.3.2.- Material pétreo triturado de origen basáltico.....	26
2.4.- Mineralogía y química del material pétreo.	27
2.4.1.- Basalto.....	27

2.5.- Clasificación de las rocas. -----	28
2.5.1.- Las rocas ígneas-----	28
2.5.2.- Rocas sedimentarias.-----	29
2.5.3.- Rocas metamórficas.-----	30
2.6.- Pruebas de laboratorio. -----	31
2.6.1.-Identificación, muestreo, transporte y preparación-----	31
2.6.2.- Peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S)-----	33
2.7.- Granulometría de materiales pétreos para mezclas asfálticas. -----	34
2.8.- Prueba de densidad relativa y absorción de materiales pétreos para mezclas asfálticas. -----	38
2.8.1.- Determinación de densidad de material grueso y absorción.-----	38
2.8.2.- Determinación de densidad materiales finos.-----	41
2.8.3.- Determinación de la contracción lineal.-----	44
2.9.- Equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas. -----	46
2.10.- Desgaste mediante la prueba del desgaste de los ángeles. -----	48
CAPITULO 3:-----	52
CEMENTO ASFÁLTICO-----	52
3.1.- Cemento asfáltico-----	53
3.1.1.- Introducción-----	53
3.2.- Definición y clasificación-----	53
3.3.- Cemento asfáltico-----	54
3.4.- Definición y propiedades del cemento asfáltico AC-20-----	55
3.5.- Penetración en cementos y residuos asfálticos. -----	56
3.6.- Punto de inflamación cleveland en cementos asfálticos. -----	58
3.7.- Punto de reblandecimiento en cementos asfálticos. -----	60
3.8.- Prueba de ductilidad de cementos residuos asfálticos. -----	62
3.9.- Resumen de resultados. -----	64
CAPITULO 4:-----	65
DISEÑO DE LA MEZCLA-----	65
4.1.- Introducción-----	66
4.2.- Método Marshall-----	66

4.2.1.- Historia del método Marshall-----	66
4.3.- Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall ----	79
Graficas de la prueba Marshall-----	93
GRAFICAS DE LA PRUEBA MARSHALL -----	97
CAPITULO 5:-----	100
COMPARATIVO DE RESULTADOS -----	100
FUENTES DE CONSULTA -----	107

RESUMEN

El presente es un trabajo de investigación con carácter profesionalizante en el área de las Vías Terrestres, tiene su impacto en lo particular en los pavimentos flexibles, los estudios y recopilación de información están enfocadas a la capa de rodadura o mejor conocida como carpeta asfáltica. En este trabajo se desarrollo una investigación con la finalidad de analizar el efecto que genera la adición de un modificador polimérico a un agregado de origen mineral, haciendo el comparativo de los resultados para conocer dicho comportamiento y así mismo emitir las conclusiones y recomendaciones de su uso en carretas que utilicen pavimentos flexibles y con una superficie de rodadura con carpeta asfáltica de granulometría densa elaborada en caliente por Método Marshall.

ABSTRACT

This is a research with professionalizing character in the area of the roads , has its impact in particular flexible pavements , studies and information gathering are focused on the surface layer or better known as asphalt . In this paper an investigation in order to analyze the effect generated by adding a polymer modifier to an aggregate of mineral origin , making the comparison of results to know the behavior and likewise make findings and recommendations of its use development in carts that use flexible pavement and a road surface with dense grain size asphalt made hot by Marshall method .

PALABRAS CLAVE: Mezclas asfálticas, materiales pétreos, granulometría, roca triturada, método Marshall.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en México se cuenta con un alto porcentaje de carreteras principales pavimentadas con pavimentos flexibles, los mismos que por su naturaleza de diseño emplean en su capa superior carpeta asfáltica como superficie de rodadura, que dicho sea de paso resulta ser la capa más costosa de la estructuración total, así mismo es esta misma de la que el usuario se percata de primer instancia si esta construida de manera adecuada y si presenta algún tipo de falla o desperfecto que le genere una incomodidad al momento de transitar por la misma. Haciendo referencia a lo anteriormente planteado nos hemos puesto en acción analizando diferentes tipos de materiales para solventar de alguna manera la percepción del usuario final, garantizando que los materiales sean los mas idóneos y que toda vez que se diseñe la carpeta asfáltica y surgen los desperfectos estos sean disminuidos mediante adiciones de materiales y/o aditivos de nueva generación como fue el caso de nuestro caso en estudio, en el cual analizamos el diseño de una mezcla asfáltica densa elaborada con cemento asfáltico mediante el método Marshall y empleando material pétreo de la región occidente del Estado de Michoacán de Ocampo, México.

A continuación, se presentan los resultados de dicha investigación y trabajos.

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo de tesis de manera general consiste en analizar los efectos que se generan con la aplicación de un aditivo mejorador de la resistencia a altas temperaturas, el cual se adiciono a un asfalto AC-20 y posteriormente fue utilizado en una mezcla asfáltica de granulometría densa, empleando materiales de la región. Los resultados que se esperan de la misma se enfocan en mejoras como: adhesión agregado-asfalto, agregado-agregado y por ende un incremento en la resistencia de la mezcla asfáltica, debido a que se podría tener mejor adhesión en sus componentes.

CAPITULO 1:

ANTECEDENTES



CAPITULO I

1.1.- Antecedentes.

Por necesidad, los primeros caminos fueron vías de tipo peatonal (veredas) que las tribus nómadas formaban al deambular por las regiones en busca de alimentos; posteriormente, cuando esos grupos se volvieron sedentarios, los caminos peatonales tuvieron finalidades religiosas, comerciales y de conquista. En América, y en México en particular, hubo este tipo de caminos durante el florecimiento de las civilizaciones maya y azteca. (Olivera, 1996).

Al momento de la conquista, los españoles llegaron con caballos y carretas, y comenzaron a construir caminos más amplios, ya que las veredas del imperio azteca les resultaban insuficientes para sus necesidades. En 1522 Hernán Cortés ordenó que Álvaro López construyera un camino ancho entre Veracruz y Tenochtitlan, para poder aprovechar el uso de carretas, bestias de carga y soldados a caballo. El camino se volvió carretera en 1531, cuando Sebastián de Aparicio construyó las primeras carretas de bueyes para mover mercaderías entre el puerto y la capital. (Breve historia de los caminos de México, 2011)

1.2.- 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, paso al latín y, más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt). Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado.

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remota 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 materiales 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 modificación, práctica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 A.C. los Arabes 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 Cristobal Colón, un siglo más tarde, Sir Walter Raleigh quedó asombrado ante este lago de betún y tomo posición para la corona británica. Mientras tanto, en 1712, el griego Eirini D'Eyrinis hizo otro descubrimiento: el yacimiento de asfalto de Val Travers en Suiza y luego el yacimiento de Seyssel en el Valle de Ródano, a partir de estos yacimientos se elaboró “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 de Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines de asfalto, que en 1837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los Campos Llísesos en Paris. En 1852, la construcción de la carretera Paris-Perpiñan utilizo 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 del 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 utilizan 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.

1.3.- ¿Qué es un asfalto?.

El asfalto es un material bituminoso (figura 1.1 Productos Bituminosos) de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites (figura 1.2 El Asfalto), 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 **naturales**.

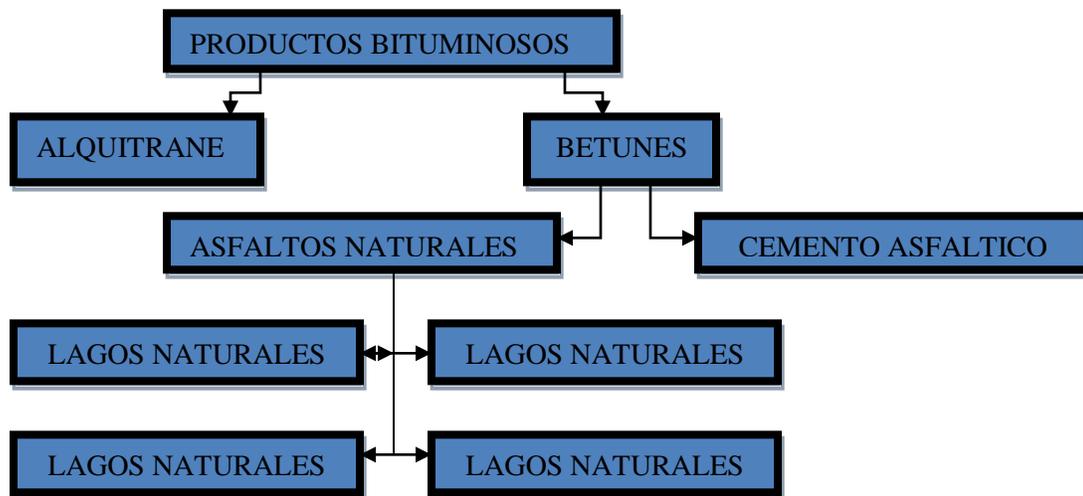


Fig. 1.3.1.- Productos Bituminosos (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto)

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.

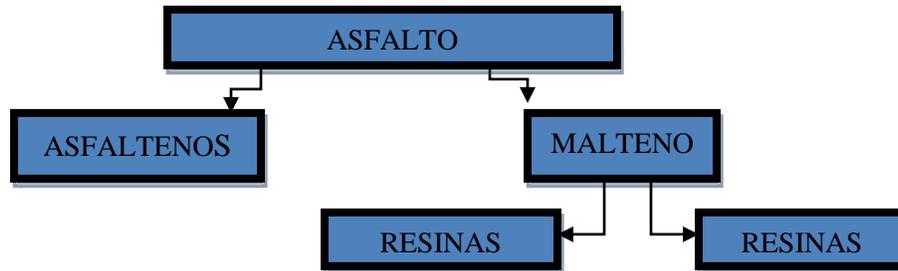


Fig. 1.3.2.- El Asfalto (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto)

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:

- φ Petróleos crudos de base asfáltica.
- φ Petróleos crudos de base parafínica.
- φ 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 base discontinua, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la perdida 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 (figura 1.3.3. Productos y Temperaturas típicas 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 contienen 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.

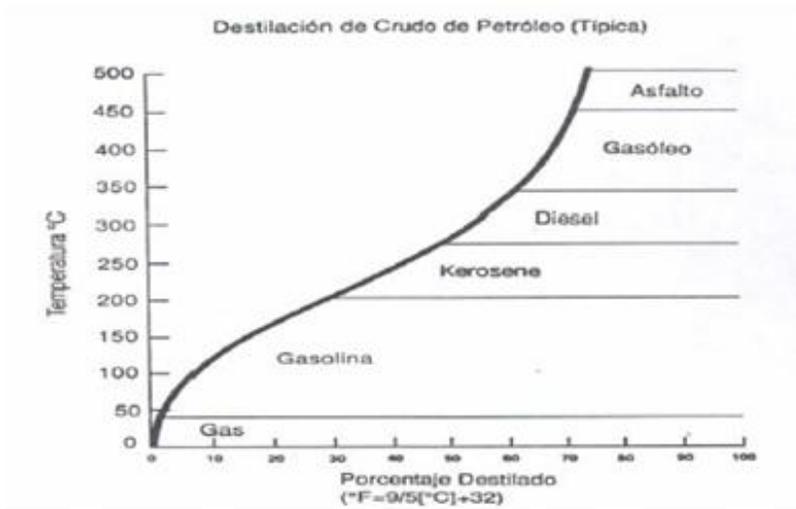


Fig. 1.3.3.- Productos y Temperaturas típicas de destilación (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto)

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 matrices orgánicas y minerales extraños.

1.4.- 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 disponibles en aquellos años.

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 máltenos.

Las resinas contenidas en los máltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otra manera insoluble asfaltos.

Asfaltos	Maltenos
<ul style="list-style-type: none"> φ Compuestos Polares φ Hidrocarburos Aromáticos φ Peso molecular mayor a 1.000 Precipitan como sustancias oscuras por dilución con parafinas de bajo punto de ebullición(pentano-heptano) 	<ul style="list-style-type: none"> φ No Polares φ Hidrocarburos Alifáticos más Nafténicos y Aromáticos φ Peso molecular hasta 1.000 Medio continuo

Fig. 1.4.1.- Modelo de composición del Asfalto.

1.5.-Obtención de Asfaltos 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.

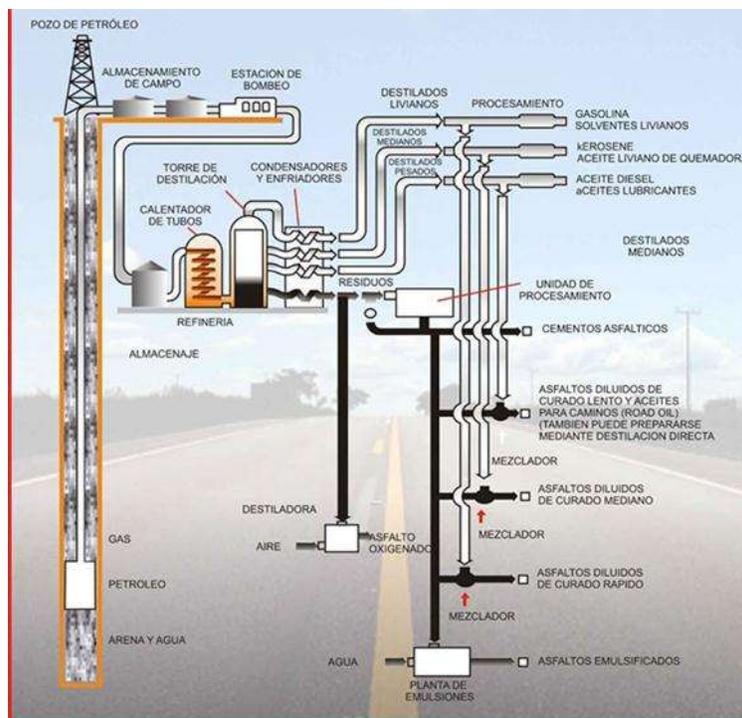


Fig. 1.5.1.- Diagrama de flujo para asfaltos de petróleo.

1.5.1.- Destilación Primaria:

Es la primera 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 a esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionadora. 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.

1.5.2.- Destilación al Vacío

Para separar el fondo de la destilación primaria, otra fracción libre de asfaltenos 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 fraccionadora, 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, 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.

1.5.3.- Desasfaltización con propano o butano

El residuo de vacío obtenido por destilación al vacío, contiene los asfaltenos 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 asfaltenos 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 queda un residuo semisólido llamado "bitumen".

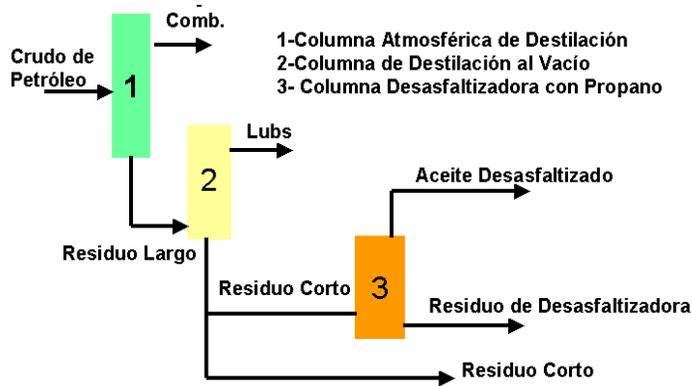


Fig. 1.5.2.- Esquema de obtención de Asfaltos por Desasfaltización.

1.6.- Características del Asfalto.

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

- ϕ 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.
- ϕ Durabilidad: Capacidad para mantener sus propiedades con el paso del tiempo y acción de agentes envejecedores.
- ϕ Susceptibilidad Térmica: Variación de sus propiedades con la temperatura.
- ϕ Pureza: Definición de su composición química y el contenido de impurezas que posee.
- ϕ Seguridad: Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación.

1.7.- Procesos del Asfalto.

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

1.7.1.- Proceso Químico.

- ϕ 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.
- ϕ Oxidación: Es una reacción entre el asfalto y el oxígeno, es una forma de polimeración. Proceso Físico-Químico.
- ϕ Volatilización: Evaporización de los componentes más livianos del asfalto. Depende únicamente de la temperatura, proceso reversible pero no se logra el mismo material.

1.7.2.- Proceso Físico.

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

1.8.- Infraestructura carretera en México.

La infraestructura carretera moviliza la mayor parte de la carga (55% del total) y de las personas (98% del total) que transitan el país. Para atender esta demanda, la red carretera cuenta con 377,660 km de longitud, dividida entre red federal (49,652 km), carreteras alimentadoras estatales (83,982 km), la red rural (169,429 km) y brechas mejoradas (74,596 km) (ver Figura 1.8.1).

A pesar de que la red carretera federal logra conectar gran parte de los nodos estratégicos del país, algunos tramos ya presentan problemas de saturación, sobre todo los que conectan las principales ciudades del centro del país. Además, existen problemas de conexión a escala local denominadas de "último kilómetro", como lo son accesos a puertos, cruces internacionales y entradas a las ciudades.

Del total de red carretera actual, destacan los 15 corredores carreteros, entre los dos océanos y las fronteras norte y sur del país. Estos corredores presentan en conjunto un 68.6% de avance en su grado de modernización a altas especificaciones(2) lo que contribuye a que la gran mayoría de la red registre niveles de servicio adecuado. Sin embargo, existe el riesgo de que estos niveles se deterioren una vez que los flujos de carga se incrementen y las regiones del país se desarrollen.

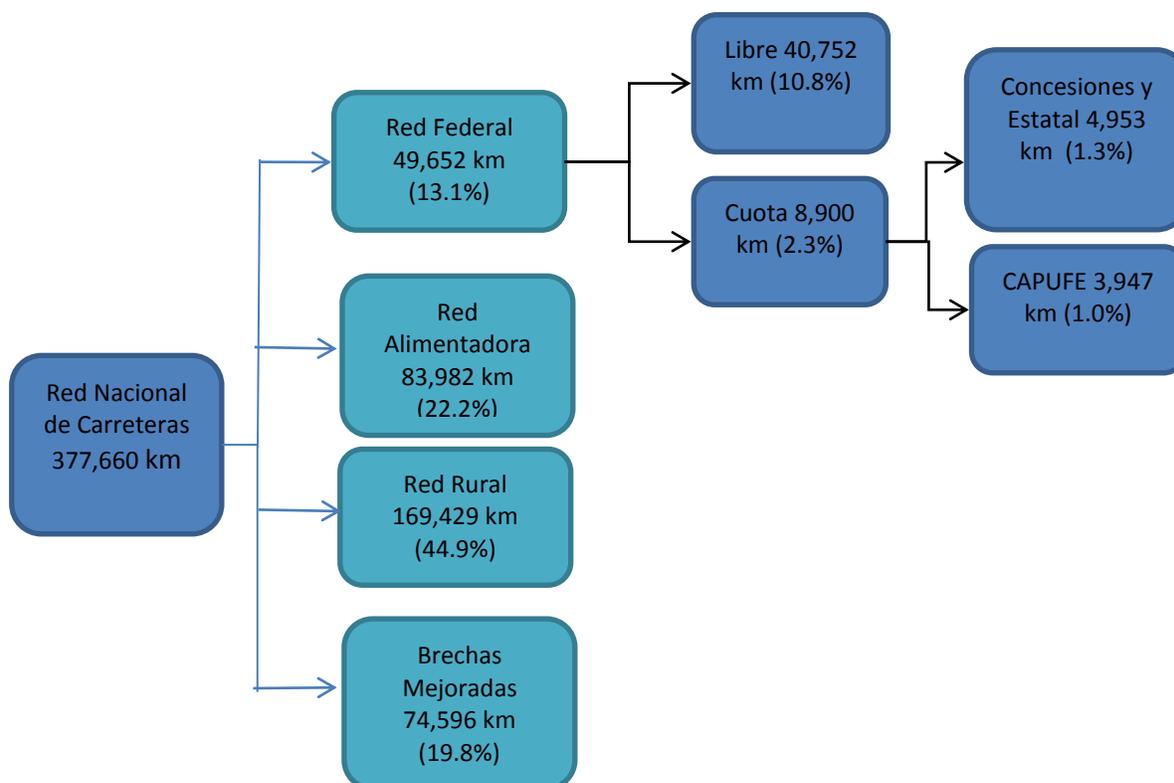


Fig. 1.8.1.- Composición de la Red Nacional de Carreteras, 2012. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Subsecretaría de infraestructura.

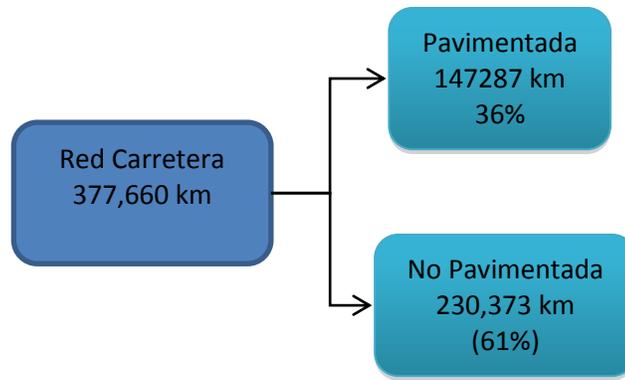


Fig. 1.8.2.- 147,287 km de la Red Carretera en México esta pavimentada. Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Subsecretaria de infraestructura.

LOS 15 EJES TRONCALES

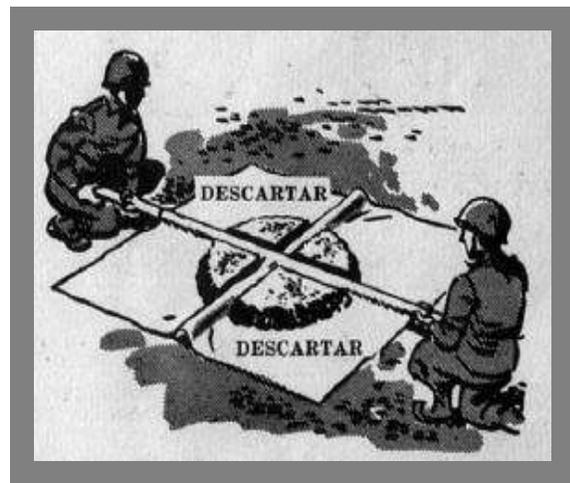
► El gobierno federal desarrollará un corredor carretero por donde se calcula transitarán diariamente más de 3 mil millones de pasajeros y más de 470 millones de toneladas de carga.



Fig. 1.8.3.- Red Carretera Nacional.

CAPITULO 2:

MATERIAL PETREO



CAPITULO II

2.1.- Material pétreo

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

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

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

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

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

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

a) Agregados Naturales.

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

b) Agregados de Trituración.

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

c) Agregados Artificiales.

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

2.2.- Definición de material pétreo

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

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

Para una buena carpeta asfáltica el material debe de cumplir con algunas características muy importantes como es que no debe de tener ningún tipo de materia orgánica que al paso del tiempo genere problemas en la carpeta, claro tener la resistencia suficiente, que no se rompa con los equipos de compactación y que el tamaño máximo del agregado no debe ser mayor de 2/3 del espesor de la carpeta. Y algunas otras más como; Los agregados pétreos no deberán tener más del 20 % de fragmentos suaves, tener suficiente resistencia para soportar, sin romperse, las cargas aplicadas por los equipos de compactación que se utilizarán en la construcción de carpetas de mezcla asfáltica o en tratamientos superficiales.

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

a). - Materiales granulares naturales que no requieren ninguna preparación previa de trituración o cribado tales como las arenas o granitos desintegrados utilizados en la construcción de mezclas asfálticas.

b). - Materiales granulares naturales que requieren un cribado o una trituración parcial para eliminar las partículas de tamaño mayor que el especificado, tales como las gravas y arenas de río que se utilizan en la elaboración de mezclas asfálticas.

c). - Materiales naturales procedentes de la explotación de bancos de roca, o materiales de “pepena”, que deberán triturarse y clasificarse en diferentes tamaños por medio de una operación de cribado, y que se utilizan en la elaboración de carpetas de mezcla asfáltica o en tratamientos superficiales.

d). - los materiales de los grupos anteriores que requieran de un proceso de lavado.

e). - Escorias de fundición que deberán triturarse y cribarse para obtener materiales de diversos tamaños

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

2.3.- Tipo de material empleado.

En este apartado se mencionan los tipos de material pétreo a analizar, así como la ubicación y obtención de ello:

2.3.1.- Material pétreo volcánico.

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

La muestra del agregado pétreo se obtuvo en el banco de material cerro los nogales en el municipio de Maravatio, Michoacán. Con coordenadas 19°46'57.81"N 100°26'32.20"O, Altitud 2239 m.

2.3.2.- Material pétreo triturado de origen basáltico.

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

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

Tipo	Ígnea- volcánica
Textura	Fino
Serie ígnea	Subalcalica
Color	Gris oscuro, gris intermedio
Minerales esenciales	Plagioclasa, hornblenda, piroxeno
Minerales accesorios	Olivino, biotita, cuarzo

Tabla 2.3.1.- Estructura de la roca basalto clase andesita.

2.4.- Mineralogía y química del material pétreo.

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

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

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
58,70	0,88	17,24	3,31	4,09	0,14	3,37	6,88	3,53	1,64	0,21

2.4.1.- Basalto.

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



Fig. 2.4.1.- Basalto



Fig. 2.4.2.- Basalto compacto

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

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

2.5.- 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.

2.5.1.- Las rocas ígneas

Se 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, 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:

- ϕ Sus minerales y química global dan información sobre la composición del manto terrestre, del cual procede el magma que originan las rocas ígneas, de la temperatura y condiciones de presión reinantes cuando se formó la roca, o de la roca pre-existente que se fundió.
- ϕ 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
- ϕ Sus características corresponden usualmente con características de un ambiente tectónico específico, permitiendo reconstituciones eventos tectónicos (ver tectónica de placas)
- ϕ En algunas circunstancias especiales, contienen importantes depósitos minerales, como tungsteno, estaño y uranio, comúnmente asociados a granitos, cromo y platino, comúnmente asociados a gabros.

A continuación se muestran algunas imágenes de rocas ígneas:



Fig. 2.5.1.- Roca ígnea intrusiva: ANDESITA PORFÍDICA



Fig. 2.5.2.- Roca ígnea extrusiva: RIOLITA

2.5.2.- 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.

A continuación, se muestran algunas imágenes de rocas metamórficas:



Fig. 2.5.1.- Roca sedimentaria: ARENISCA



Fig. 2.5.4.- Roca sedimentaria: CALIZA

2.5.3.- 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.



Fig. 2.5.5.- Roca textura foliada: PIZARRA



Fig. 2.5.6.- Roca textura no foliada: SERPENTINITA

2.6.- Pruebas de laboratorio.

2.6.1.-Identificación, muestreo, transporte y preparación

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

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

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

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



Fig. 2.6.1.- Macro localización

El aspecto geológico de la región serrana y del Malpaís, está formada en todo su volumen por materiales volcánicos como balastos, rocas ígneas extrusivas de color gris oscuro y gris intermedio de la roca. Los montes y cerros con una capa delgada de tierra vegetal de 1.5 m de espesor y enseguida espesores importantes de materiales volcánicos, y material piedra brasa.



Fig. 2.6.2.- Micro localización

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

La transportaremos en costales que eviten la pérdida de finos y en un vehículo adecuado para llevarlo al laboratorio. Posteriormente se seca extendiéndolo en una superficie plana para que le peguen los rayos del sol y se seque más rápido. El procedimiento para el acarreo del material es revolviendo el material varias veces hasta que quede bien distribuido los finos con los gruesos, después se apila el material en forma cónica y se aplana en la parte superior con una pala hasta quedar a unos cinco centímetros de espesor.

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



Fig. 2.6.3.- Material volcanico



Fig. 2.6.4.- Material triturado



Fig. 2.6.5.- Secado de material en patio



Fig. 2.6.6.- Secado de material en patio

2.6.2.- 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:

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

Dónde:

P.V.S.S.= 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:

MAT. PETREO	No. Muestra	W1	W2	V	P.V.S.S. (kg/m3)	PROM.
VOLCANICO	1	6.79	1.847	2.85	1734.386	1671.813
	2	6.456	1.847	2.85	1617.193	
	3	6.589	1.847	2.85	1663.860	
TRITURADO	4	6.985	1.847	2.85	1802.807	1848.460
	5	7.156	1.847	2.85	1862.807	
	6	7.29	1.847	2.85	1909.825	

Tabla. 2.6.1.-Calculo de pesos en muestras y obtención del promedio de P.V.S.S.



Fig. 2.6.7.-Llenado de recipiente para prueba.



Fig. 2.6.8.- Enrasado de recipiente.



Fig. 2.6.9.-Llenado de recipiente para prueba.



Fig. 2.6.10.- Enrasado de recipiente.

2.7.- Granulometría de materiales pétreos para mezclas asfálticas.

M-MMP-4-04-002

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

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

Objetivo de la prueba

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

Procedimiento de la prueba

Para la prueba utilizaremos el método más común, que es el de cribado, el cual consiste en separar una muestra representativa en sus diferentes tamaños por medio de mallas que van de mayor a menor, para después pesar el retenido por cada una de estas mallas y así tener

un porcentaje representativo el cual nos servirá para hacer una comparación que nos indique si el material está bien graduado o mal graduado.



Fig. 2.7.1.- Cribado de material



Fig. 2.7.2.- Diferente malla



Fig. 2.7.3.- Malla



Fig. 2.7.4.- Material fino

En la Tabla de la granulometría existen parámetros (Tabla. 2.7.1) que nos restringe los porcentajes mínimos y máximos que debe tener un material pétreo bien graduado en función de su tamaño y del tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de (8,2 Toneladas) acumulados durante la vida útil del pavimento, esto nos lo marca la norma para pavimentos flexibles.

Abertura mm	Malla	Tamaño nominal del material pétreo mm (in)				
	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. 2.7.1.- Requisitos de granulometría del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (Para cualquier valor de la vida útil del pavimento Σ L).

CARACTERISTICA	VALOR
Densidad relativa, mínimo	2.4
Desgaste de Los Ángeles; %, máximo	30
Partículas alargadas y lajeadas; %, máximo	35
Equivalente de arena; %, mínimo	50
Perdida de estabilidad por inmersión de agua; %, máximo	25

Tabla 2.7.2.- Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa (para $\Sigma I > 10^6$).

Dichas mallas se preparan en dos juegos, el primero para la grava y el segundo para la arena ensamblándola en orden descendente de aberturas de acuerdo con lo indicado en las tablas 2.7.3 y 2.7.4 terminando en el fondo con la charola receptora.

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

Tabla 2.7.3.- Juego de mallas para grava

Designación	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 2.7.4.- Juego de mallas para arena

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

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

Malla N°	Peso retenido parcial (GRS)	% Retenido parcial	% Que pasa la malla
1"	—	—	100
3/4"	55	5	95
1/2"	154	14	81
3/8"	165	15	66
1/4"	231	21	45
N°4	55	5	40
Pasa N°4	440	40	0
Suma	$\Sigma=1100$	$\Sigma=100$	

Tabla 2.7.5.- Material grueso de la muestra

Malla N°	Peso retenido parcial (GRS)	% Retenido parcial	% Que pasa la malla
10	198	18	22
20	88	8	14
40	44	4	10
60	22	2	8
100	11	1	7
200	33	3	4
Pasa N°200	44	4	0
Suma	Σ=440	Σ=40	

Tabla 2.7.6.- Porción fina de la muestra.

Malla		Tamaño del material pétreo mm (in)		
Abertura mm	Designación	19 mm (3/4")	% Que pasa	
% Que pasa en la muestra de granulometría				
50	2"	—	—	—
37.5	1 1/2"	—	—	—
25	1"	100	100	Pasa
19	3/4"	90 - 100	95	Pasa
12.5	1/2"	72 - 90	81	Pasa
9.5	3/8"	60 - 76	66	Pasa
6.3	1/4"	44 - 57	45	Pasa
4.75	N°4	37 - 48	40	Pasa
2	N°10	20 - 29	22	Pasa
0.85	N°20	12 - 19	14	Pasa
0.425	N°40	8 - 14	10	Pasa
0.25	N°60	6 - 11	8	Pasa
0.15	N°100	4 - 8	7	Pasa
0.075	N°200	2 - 5	4	Pasa

Tabla 2.7.7.- En esta tabla se muestra nuestra granulometría.

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

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

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

M-MMP-4-04-003

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).

2.8.1.- Determinación de densidad de material grueso y absorción.

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

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

Se extrae el material del picnómetro y se coloca en una charola para secarlo en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 20 horas. Transcurrido el tiempo, el material se saca del horno y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

Una vez enfriado, se determina el peso del material seco (Ps) y se registra en gramos con las siguientes expresiones:

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

Dónde:

D= Densidad relativa aparente

Ph= Peso húmedo del material (gr.)

V= Volumen desalojado de agua (cm³)

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

Dónde:

Ph= Peso húmedo del material (gr.)

Ps= Peso seco del material (gr.)

MAT. PETREO	Prueba	No. Muestra	Ps (g)	Ph (g)	V (ml)	Resultado	PROMEDIO
VOLCANICO	D Mat. Gruesos	1	298.6	306.95	146	2.10	2.11
		2	285.6	309.25	146	2.12	
		3	290.68	308.56	146	2.11	
	% de Absorción	1	298.6	306.95		2.80	5.74
		2	285.6	309.25		8.28	
		3	290.68	308.56		6.15	
TRITURADO	D Mat. Gruesos	1	297.8	301.65	146	2.07	2.07
		2	297.1	301.85	146	2.07	
		3	297.78	301.05	146	2.06	
	% de Absorción	1	297.8	301.65		1.29	1.33
		2	297.1	301.85		1.60	
		3	297.78	301.05		1.10	

Tabla 2.8.1.- Resultados de densidad materiales gruesos y absorción.



Fig. 2.8.1.- Secado superficial



Fig. 2.8.2.- Saturación de Material volcánico



Fig. 2.8.3.- Secado del material



Fig. 2.8.4.- Peso material Volcánico Seco

2.8.2.- Determinación de densidad materiales finos.

- ϕ Inmediatamente después de preparar la muestra que pasa la malla No. 40, utilizando el embudo, se introduce el material en el matraz previamente calibrado, como se muestra en la figura 2.8.5. posteriormente se llena el matraz con agua destilada hasta aproximadamente la mitad de su capacidad.



Fig. 2.8.5.- Muestra cómo se introduce el material y agua destilada

- ϕ Empleando el dispositivo de succión, se aplica vacío al matraz durante 15 min, con objeto de extraer el aire atrapado en la muestra, como se muestra en la Figura 2.8.6 y 2.8.7. Para facilitar este proceso se agita cuidadosamente la suspensión con un movimiento giratorio del matraz alrededor de su eje. La succión máxima que se aplique no deberá exceder de 100 mm de Hg (0.136 kg/cm³). En caso de no contar con el dispositivo de succión, utilizando la parrilla eléctrica o fuente de calor, se pone en ebullición el agua del matraz durante 10 min aproximadamente, moviendo al mismo tiempo el material con el agitador mientras hierve, hasta expulsar el aire atrapado.



Fig. 2.8.6.- Muestras en parrilla de gas.



Fig. 2.8.7.- Muestra cómo se aplica la succión.

- ϕ Se deja enfriar el matraz hasta alcanzar la temperatura ambiente y se adiciona el volumen de agua destilada necesaria para alcanzar la marca de aforo, como se muestra en la Figura 2.8.8, y en su caso, se vuelve aplicar el vacío para asegurar que no haya quedado aire atrapado en la muestra, lo cual ocurriría cuando ya no se observe ninguna variación en el nivel del menisco; si es necesario, se quitara o

agregara agua destilada utilizando el cuentagotas, de tal forma que el nivel inferior del menisco coincida con la marca de aforo.



Fig. 2.8.8.- Muestra el matraz después de llenarlo y su pesado.

- ϕ Se secan cuidadosamente la superficie exterior del matraz y el interior del cuello del mismo. Para esta última operación se emplea un lienzo absorbente enrollado, evitando tocar el menisco.
- ϕ Se obtiene la masa del matraz con el material y el agua, registrándolo como, W_{fsw} , en gr.
- ϕ Se tapa el matraz y se invierte varias veces en forma cuidadosa con el fin de uniformizar la temperatura de la suspensión, a continuación se coloca el bulbo del termómetro en el centro del matraz, como se muestra en la Figura 2.8.9 y se registra la temperatura, misma que es considerada como la temperatura de la prueba t_p .



Fig. 2.8.9.- Muestra la forma de colocar el termómetro.

- ϕ Hecho lo anterior, se vierte toda la suspensión a una capsula de porcelana, empleando el agua necesaria para arrastrar todas las partículas de suelo y se deja reposar durante 24 h. Se elimina el agua sobrante mediante una cuidadosa decantación y se lleva la muestra al horno para su secado total a masa constante, a

una temperatura de 105 ± 5 °C; se determina y se anota la masa seca de la muestra, W_s , en gr.

- ϕ En caso de suelos arenosos o no cohesivos, el periodo de reposo podrá reducirse hasta que se observe limpio el tirante de agua, continuando la prueba en la forma descrita en el paso anterior.
- ϕ Finalmente, utilizando las ecuaciones de calibración de cada matraz, se obtiene la masa del matraz con el agua, en gr., correspondiente a la temperatura de prueba t_p y se registra como W_{fw} .

Cálculos y resultados.

Se calcula y se reporta como resultado de la prueba lo siguiente:

- ϕ La densidad relativa del material seco, se determina empleando la siguiente expresión:

$$S_s = \frac{W_s}{W_{fw} + W_s + W_{fsw}}$$

Dónde:

S_s = Densidad relativa de sólidos del material, (adimensional)

W_s = Masa del material secado al horno, (gr.)

W_{fw} = Masa del matraz lleno de agua a la temperatura de prueba t_p , determinada con la ecuación de calibración de cada matraz, (gr.)

W_{fsw} = Masa del matraz contenido al suelo y agua hasta la marca de aforo, a la temperatura de prueba t_p , (gr.)

PRUEBA No.	1	2	3
Matraz No.	10	XV	7
W_{fsw} (gr.)	724	716.5	715
Temperatura (°C)	23	23.5	23
Ec. de calibración del matraz para W_{fw}	$(-0.0059x^2 - 0.2564x + 690.75)$	$(-0.0027x^2 - 0.0223x + 687.82)$	$(-0.0017x^2 - 0.0195x + 685.62)$
W_{fw} (gr.)	693.53	686.85	684.27
Capsula de evaporación No.	A	20	8
Peso de la capsula + muestra seca (gr.)	812.8	705	707
Peso de la capsula (gr.)	763	657	655.6
W_s (gr.)	49.8	48	51.4
S_s (adimensional)	2.58	2.62	2.49
	PROMEDIO S_s=		2.560

Tabla 2.8.2.- Resultados de la densidad de sólidos material pétreo triturado.

2.8.3.- Determinación de la contracción lineal.

La contracción lineal de un suelo se define como la reducción en la mayor dimensión de un espécimen de forma prismática rectangular, elaborado con la fracción de suelos que pasa la malla Núm. 0.425 (N° 40), cuando su humedad disminuye desde la correspondiente al límite líquido hasta la del límite de contracción, expresada como un porcentaje de la longitud inicial del espécimen.

Para esta determinación se utilizará una muestra preparada como la utilizada para determinar el límite líquido, o bien se aprovechará el material húmedo que haya sobrado de la determinación del límite líquido.

Equipo y materiales necesarios.

- ϕ Capsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- ϕ Espátula de hoja de acero flexible de 7.5 cm de longitud y de 2 cm de ancho, con punta redonda.
- ϕ Moldes de lámina galvanizada del N° 16, con sección de 2 por 2 cm y de 10 cm de longitud.
- ϕ Calibrador con vernier del tipo Máuser.
- ϕ Horno con termostato que mantenga una temperatura constante de 105 ± 5 °C.
- ϕ Grasa grafitada.

Procedimiento de la prueba.

- ϕ Se agrega a la muestra agua o material menos húmedo tomando de la porción preparada, hasta lograr que la humedad sea la correspondiente a la del límite líquido, lo cual se verifica empleando la copa de Casagrande y cumpliendo con la condición de que la ranura se cierre en una longitud de 13 mm precisamente a los 25 golpes.
- ϕ Con el material preparado en las condiciones indicadas se procede a llenar el molde de prueba, al cual se le habrá aplicado previamente una capa delgada de grasa en su interior para evitar que el material se adhiera a sus paredes. El llenado del molde se efectúa en 3 capas, utilizando la espátula y golpeándolo después de la colocación de cada capa contra una superficie dura; para esto último, deberá tomarse el molde por sus extremos, procurando siempre que el impacto lo reciba en toda su base, lo cual se logra conservando paralelismo entre dicha base y la superficie sobre la cual se golpea. En cada caso las operaciones de golpeo deberán prolongarse lo suficiente para lograr la expulsión del aire contenido en la muestra colocada, lo que se pone de manifiesto cuando ya no aparecen burbujas en su superficie.
- ϕ A continuación, se enrasa el material en el molde utilizado con la espátula y se deja orear a la sombra hasta que cambie ligeramente su color, después de lo cual se pone

a secar en el horno por un periodo de 18 horas, aproximadamente, a una temperatura de $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

- ϕ Se extrae del horno el molde con el espécimen, se deja enfriar a la temperatura ambiente y a continuación se saca del molde la barra.
- ϕ Finalmente, se mide con el calibrador la longitud media de la barra del material seco y la longitud interior del molde, con aproximación de 0.01 cm.



Fig. 2.8.10.- Llenado Mat. volcánico en 3 capas.



Fig. 2.8.11.- Muestra el molde enrazado.

Cálculos y resultados.

La contracción lineal se calcula de acuerdo con la siguiente formula.

$$CL = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100$$

L_i (cm)	L_f (cm)	CL (%)
10	9.8	2

Dónde:

CL= Es la contracción lineal aproximada al décimo más cercano, en %.

L_i = Es la longitud de la barra de suelo húmedo, que corresponde a la longitud interior del molde, en cm.

L_f = Es la longitud media de la barra de suelo seco, en cm.

2.9.- Equivalente de arena de materiales pétreos para mezclas asfálticas.

M-MMP-4-04-004

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 hidráulico.

Objetivo de la prueba

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

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

Solución de reserva

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

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

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

Solución de trabajo

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



Fig. 2.9.1.- Capsula de Muestra



Fig. 2.9.2.- Equipo Sifón



Fig. 2.9.3.- Muestra de prueba



Fig. 2.9.4.- Cilindro y Pisón para la prueba

Procedimiento de la prueba

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

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

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

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

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

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

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

$$\% \text{ Equivalente de arena} = \frac{\text{LNS arena}}{\text{LNS finos}} * 1000$$

Dónde:

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

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



Fig. 2.9.5.- Cilindro con la Muestra



Fig.2.9.6.- Sifón más los cilindros

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

M-MMP-4-04-006

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



Fig. 2.10.1.- Maquina desgaste de los Ángeles



Fig. 2.10.2.- Material Obtenido

2.9.2.- 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"	1250 ± 25	12	5000 ± 10
	25 - 19	1" - 3/4"	1250 ± 25		
	19 - 12.5	3/4" - 1/2"	1250 ± 10		
	12.5 - 9	1/2" - 3/8"	1250 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ± 10		
B	19 - 12.5	3/4" - 1/2"	2500 ± 10	11	4584 ± 25
	12.5 - 9	1/2" - 3/8"	2500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ± 10		
C	9.5 - 6.3	3/8" - 1/4"	2500 ± 10	8	3330 ± 20
	6.3 - 4.75	1/4" - N°4	2500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5000 ± 10		
D	4.75 - 2	N°4 - N°10	5000 ± 10	6	2500 ± 15

Tabla 2.10.1.- Clasificación de los materiales según su granulometría.

Identificando el tipo de material, se toma la cantidad indicada en la tabla de las partículas retenidas en las mallas 1/4" (6.30 mm) y la N° 4 (4.75 mm), se lava para eliminar el polvo adherido y se seca en el horno a una temperatura de 100 a 110° C.



Fig. 2.10.3.- 11 esferas en la prueba.

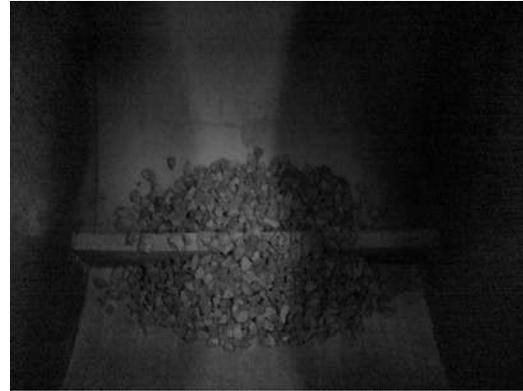


Fig. 2.10.4.- Material en prueba de los ángeles.

Como se puede observar en la tabla anterior existen varias clasificaciones de materiales pétreos por lo que al comparar nuestra granulometría, tenemos que nuestro material es de tipo C, puesto que el mayor porcentaje de partículas se retiene en la malla 1/4" (6.30 mm).

Se registra el peso de la muestra como inicial en la maquina "Los Ángeles" junto con las 11 esferas de acero, se pone en marcha la máquina hasta completar el total de revoluciones especificadas en la tabla 2.10.1.

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 (%) W_i = Peso inicial de la muestra (g.)

W_f = Peso final de la muestra (g.)

En la prueba realizada el resultado obtenido fue el siguiente:

Material Pétreo a utilizar:

A).- Material de 3/8" = 2,500 g. B).- Material de 1/2" = 2,500 g.

C).- N° de Esferas = 11

D).- Tiempo = 12.5 minutos

W_i = 5,000 g.

W_f = 4,253 g.

Sustituyendo los Valores, obtenemos lo siguiente:

PRUEBA	RESULTADO	ESPECIFICACION	NORMA
P.V.S.S.	1846.68 kg/cm ³		S/Norma
Granulometría	Sobrada conforme al rango en los tamaños del material pétreo para un tamaño nominal del material pétreo de 19 mm (3/4")	Tabla N°1, Libro: Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales	M-MMP-4-04-002/02
Densidad Relativa y Aparente	2.32%	2.4 % mínimo	M-MMP-4-04-004/02
% de Absorción	1.33%	< 2% baja	M-MMP-4-04-004/02
		2-4% mediana	
		> 4% alta	
% Equivalente de arena	100%	50%, mínimo	M-MMP-4-04-004/02
Desgaste de los Ángeles	28.7%	30%, máximo	M-MMP-4-04-006/02

Tabla 2.10.2.- Resumen de resultados

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

Primeramente se puede observar que el peso volumétrico seco suelto de este material está sobrado lo cual nos indica que el volumen es poco alto y por lo tanto la densidad siendo de 2.673 que es más alto que el mínimo establecido en la norma para pavimentos flexibles.

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

Lo que es la densidad relativa aparente es de 2.67 está en los límites permisibles y la absorción es mediana del 1.39 % por lo que se va adherir asfalto de manera normal.

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

CAPITULO 3:

CEMENTO ASFÁLTICO



CAPITULO III

3.1.- Cemento asfaltico

3.1.1.- Introducción

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

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

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

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

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

3.2.- Definición y clasificación

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

Los materiales asfálticos se emplean en la elaboración de carpetas, mezclas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados, para ligar o unir diferentes capas del pavimento; o bien para estabilizar bases o subbases. También se pueden usar para construir, fabricar o impermeabilizar otras estructuras, tales como algunas obras complementarias de drenaje, entre otras.

Los materiales asfálticos se clasifican en cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, dependiendo del vehículo que se emplee para su incorporación o aplicación, en este caso nos enfocaremos en los cementos asfálticos.

3.3.- Cemento asfáltico

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

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

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

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

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

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

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

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

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

En la necesidad de construir pavimentos que resistan este tipo de ataques externos y dañinos para los mismos, se realiza un estudio de asfaltos modificados los cuales tiene el

objetivo primordial de mantener sus condiciones de estabilidad o mejorarlas en la presencia de agua.

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

3.4.- Definición y propiedades del cemento asfáltico AC-20

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

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

3.5.- Penetración en cementos y residuos asfálticos

3.6.- Punto de inflamación cleveland en cementos asfálticos.

3.7.- Punto de reblandecimiento en cementos asfálticos.

3.8.- Ductilidad de cementos y residuos asfálticos.

3.5.- Penetración en cementos y residuos asfálticos.

M-MMP-4-05-006

3.5.1.- Objetivo de la prueba

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

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

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



Fig. 3.5.1.- Penetrométero



Fig. 3.5.2.- Penetrométero iniciando prueba



Fig. 3.5.3.- Capsula en baño de agua



Fig. 3.5.4.- Capsulas a Temperatura ambiente

3.5.2.- 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:

N° de Ensaye	Grados de Penetración
1	61
2	59
3	65
4	62
5	59
Promedio=	61.2

Tabla 3.5.1.- Ensayes de prueba y obtención de promedio.



Fig. 3.5.5.- Penetraciones en Cemento



Fig. 3.5.6.- Capsula con el cemento asfáltico.



Fig. 3.5.7.- Penetrométo de perfil

3.6.- Punto de inflamación cleveland en cementos asfálticos.

M-MMP-4-05-007

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

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

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

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

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



Fig. 3.6.1.- Sujetador de prueba



Fig. 3.6.2.- Copa abierta de Cleveland

3.6.1.- 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:



Fig. 3.6.3.- Aplicando calor a Muestra



Fig. 3.6.4.- Copa con cemento asfáltico

3.7.- Punto de reblandecimiento en cementos asfálticos.

M-MMP-4-05-009

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.

3.7.1.- Objetivo de la prueba

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



Fig. 3.7.1.- Anillos para la prueba



Fig. 3.7.2.- Enrasado de cemento en anillo.



Fig. 3.7.3.- Calentamiento de espátula



Fig. 3.7.4.- Baño de agua o glicerina.

3.7.2.- 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:

N° de Muestra	Temperatura
1	57
2	53
Promedio=	55

Tabla 3.7.1.- Resumen de muestras

La temperatura a la cual toco la esfera la placa inferior: Es el promedio de dichas muestras.



Fig. 3.7.5.- Aparato de anillo y bola, esfera, termómetro



Fig. 3.7.6.- Baño de agua con aparato

3.8.- Prueba de ductilidad de cementos residuos asfálticos.

M-MMP-4-05-011

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.

3.8.1.- Objetivo de la prueba

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



Fig. 3.8.1.- Molde de latón para elaborar las briquetas, compuesto de (2) dos mordazas y (2) dos elementos laterales.



Fig. 3.8.2.- Calentamiento del cemento



Fig. 3.8.3.- Briqueta de cemento asfáltico.

3.8.2.- 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 ductilómetro, el cual esta previamente llenado con agua a una temperatura de 25 ° C, el nivel de agua deberá estar 2.5 centímetros por encima de la probeta.



Fig. 3.8.4.- Ductilómetro e inicio de estirar briqueta.



Fig. 3.8.5.- Ruptura de briqueta.

Teniendo todo listo se pone en marcha el mecanismo del ductilómetro 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.

3.9.- Resumen de resultados.

LOS DATOS SE CONCENTRARON 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.

PRUEBA	RESULTADO	ESPECIFICACION	NORMA
Penetración en cementos y residuos asfálticos.	61.2%	mínimo, 60	N-CMT-4-05-001/06
Punto de inflamación cleveland en cementos asfálticos.	245°C	mínimo, 232°C	
Punto de reblandecimiento en cementos asfálticos.	55°C	48°C - 56°C	
Ductilidad de cementos y residuos asfálticos.	113 cm	mínimo, 100 cm	

Tabla 3.9.1.- Requisitos de calidad de cemento asfaltico

CAPITULO 4:

DISEÑO DE LA MEZCLA



CAPITULO IV

4.1.- Introducción

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

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

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

4.2.- Método Marshall

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

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

En este método el análisis de los parámetros mencionados permite conocer o controlar las condiciones más favorables de impermeabilidad y durabilidad de la mezcla, con lo cual se pueden fijar márgenes para evitar exceso o escasez de aglutinante. El valor de estabilidad es un índice de la resistencia a la carga, en N (Kg_f) 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.

4.2.1.- Historia del método Marshall

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La estabilidad es un valor de índice de resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada, los factores que pueden afectar la estabilidad de una carpeta asfáltica son la

granulometría y el tipo de agregado pétreo, así como el contenido de cemento asfáltico en la mezcla.

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

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

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

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

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

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

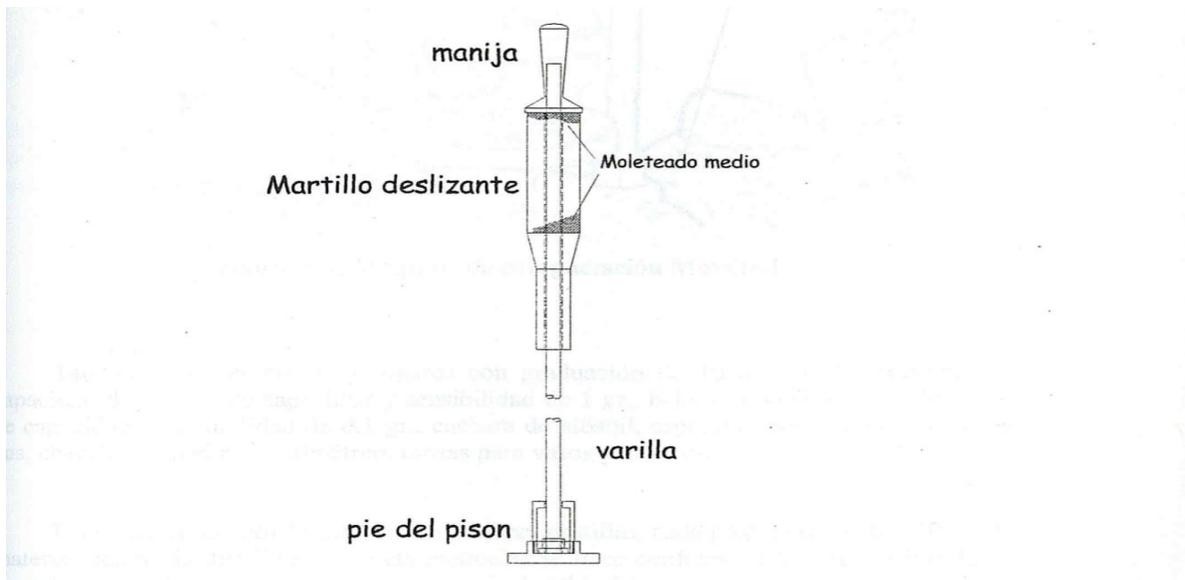


Fig.- 4.2.3. Pistón de compactación Marshall y Maquina de compactación Marshall.

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

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

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

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

Tabla.- 4.2.4. composición granulométrica que deberá tener el material pétreo en cada pastilla.

Procedimiento de la prueba.

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

Tabla 4.2.6.- contenido en peso de cemento asfáltico por cada espécimen.

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

Estando el equipo caliente se vierte la mezcla realizada anteriormente, se coloca el molde en el pedestal y se apoya el pistón dentro del molde sobre la muestra y se aplican 75 golpes. Posteriormente se quita el collarín y se da vuelta al molde, se fija firmemente sobre el pedestal y se le aplican otros 75 golpes con el pistón, de esta manera se obtendrá una carga de compactación de 14 kg/cm².

Todo este procedimiento no debe hacerse a una temperatura inferior a los 140 °C, y en ningún caso se recalentará la muestra.



Fig.- 4.2.7. Moldes a cierta temperatura.



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

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



Fig.- 4.2.9. Material a cierta temperatura.



Fig.- 4.2.10. Maquina de prueba.

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

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

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



Fig.- 4.2.11. Pastillas en el agua.



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

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

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

Una vez registrados todos los datos anteriores, se sumergen todos los especímenes en el baño de agua, a una temperatura de 60°C durante un lapso de 30 a 42 minutos.

Transcurrido este lapso de tiempo se sacan de uno en uno los especímenes, se secan superficialmente y se coloca sobre el cabezal inferior y se centra en el mismo, se monta el cabezal superior y en esta forma se lleva el conjunto a la máquina de compresión Marshall, en donde se coloca y se centra.

Se instala sobre la varilla guía el extensómetro para medir el flujo, se ajusta a cero (0) su carátula y durante la prueba se sujeta con el casquillo, oprimiendo contra el cabezal.



Fig.- 4.2.13. Parafina líquida.



Fig.- 4.2.14. Derritiendo la parafina.



Fig.- 4.2.15. Impermeabilización de pastilla.



Fig.- 4.2.16. Pastillas con parafina.

Densidad de la parafina

Capsula de petri = 27 gramos

Capsula llena de parafina = 37 gramos

Volumen de la Capsula = 12.08 cm³.

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

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

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

Pastillas

Espesores de las pastillas:

Para él % de cemento asfáltico de 4 %:

1.- 6.55	2.- 6.4	3.- 6.48
----------	---------	----------

Para él % de 4.5 de cemento asfáltico:

1.- 6.4	2.- 6.53	3.- 6.38
---------	----------	----------

Para él % de 5 de cemento asfáltico:

1.- 6.4	2.- 6.4	3.- 6.30
---------	---------	----------

Para él % de 5.5 de cemento asfáltico:

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

Para él % de 6 de cemento asfáltico:

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

Peso de las pastillas en el aire + (peso de pastillas en el aire + parafina)

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

Peso de las pastillas sumergidas en el agua

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

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.

Constante del anillo = 38.88

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

De acuerdo al volumen de la pastilla

Factores de corrección para la altura de los especímenes.

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

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

X= Es el valor de la estabilidad.

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

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

Flujo en (M.M.)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

± 5.0 % de contenido de asfalto.

± 2.0 % del peso volumétrico.

± 10.0 % de la estabilidad.

± 20.0 % del flujo.

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

Peso Volumétrico vs. Contenido de asfalto.

Por ciento de 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.

4.3.- Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall

NLT-159/00

4.3.1.- Objeto, fundamento y campo de aplicación:

- ϕ Esta forma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall. El procedimiento puede utilizarse tanto para el proyecto de mezclas en laboratorio como para su control en obra.
- ϕ El ensayo consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de (101.6 ± 0.1) mm de diámetro y (63.5 ± 2.5) mm de altura preparadas como se describe en esta norma,

rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall para determinar su estabilidad y deformación.

- ϕ El procedimiento general es de aplicación a todas las mezclas bituminosas fabricadas en caliente con tamaño máximo de áridos no mayor de 25 mm, en las que el aglomerante sea un betún asfáltico. Puede aplicarse también a las mezclas fabricadas en frío, aunque en este caso las condiciones, tanto de fabricación de las probetas como de curado y rotura, habrán de adaptarse a las características especiales de este tipo de mezclas.
- ϕ El ensayo Marshall se puede utilizar también para obtener los valores de estabilidad y deformación tanto de testigos extraídos de un pavimento como de probetas fabricadas por otros métodos de compactación, aunque en estos casos los valores pueden ser diferentes a los calculados de probetas compactadas siguiendo esta norma.
- ϕ El procedimiento es también aplicable al proyecto de mezclas en el laboratorio mediante el método Marshall, para lo cual se fabrican y ensayan series de probetas análogas con porcentajes crecientes de ligante, calculando sus densidades relativas y diferentes contenidos de huecos. A partir de estos resultados se puede determinar el contenido óptimo de ligante asfáltico de una mezcla de áridos de composición y granulometría determinadas.

4.3.2.- aparatos y material necesarios

4.3.2.1.- Conjunto de compactación.

Está formado por el molde, el collar y la placa de base, fabricados de acero cadmiado y con la forma y dimensiones indicadas en la figura 4.3.1. Para facilitar su manejo es conveniente que el molde este provisto de un asa.

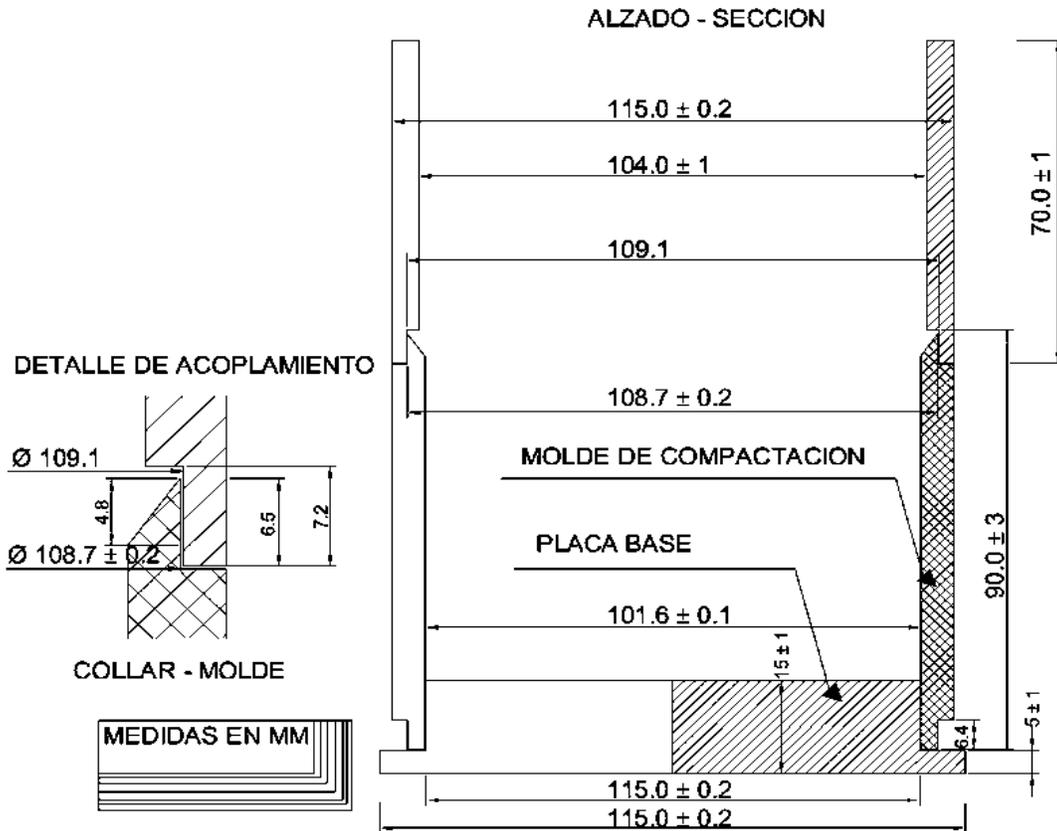


Fig. 4.3.1.- Conjunto de compactación.

4.3.2.2.- Extractor.

Para sacar la probeta del molde una vez compactada se sustituye la placa de base por un disco extractor de acero, de diámetro comprendido entre 100 y 101 mm y unos 15 mm de espesor, utilizando cualquier dispositivo que fuerce suavemente ala probeta para pasar el molde al collar.

4.3.2.3.- Maza de compactación.

Para compactar las probetas se emplea un dispositivo de acero formado por una base plana circular de (98.52 ± 0.15) mm de diámetro y (3.960 ± 20) g de masa y un pizon de (4.550 ± 20) g, montado de forma que se pueda conseguir una caída libre del mismo sobre la base desde un altura de (460 ± 3) mm. Su forma y dimensiones serán las referidas en la figura 4.3.2.

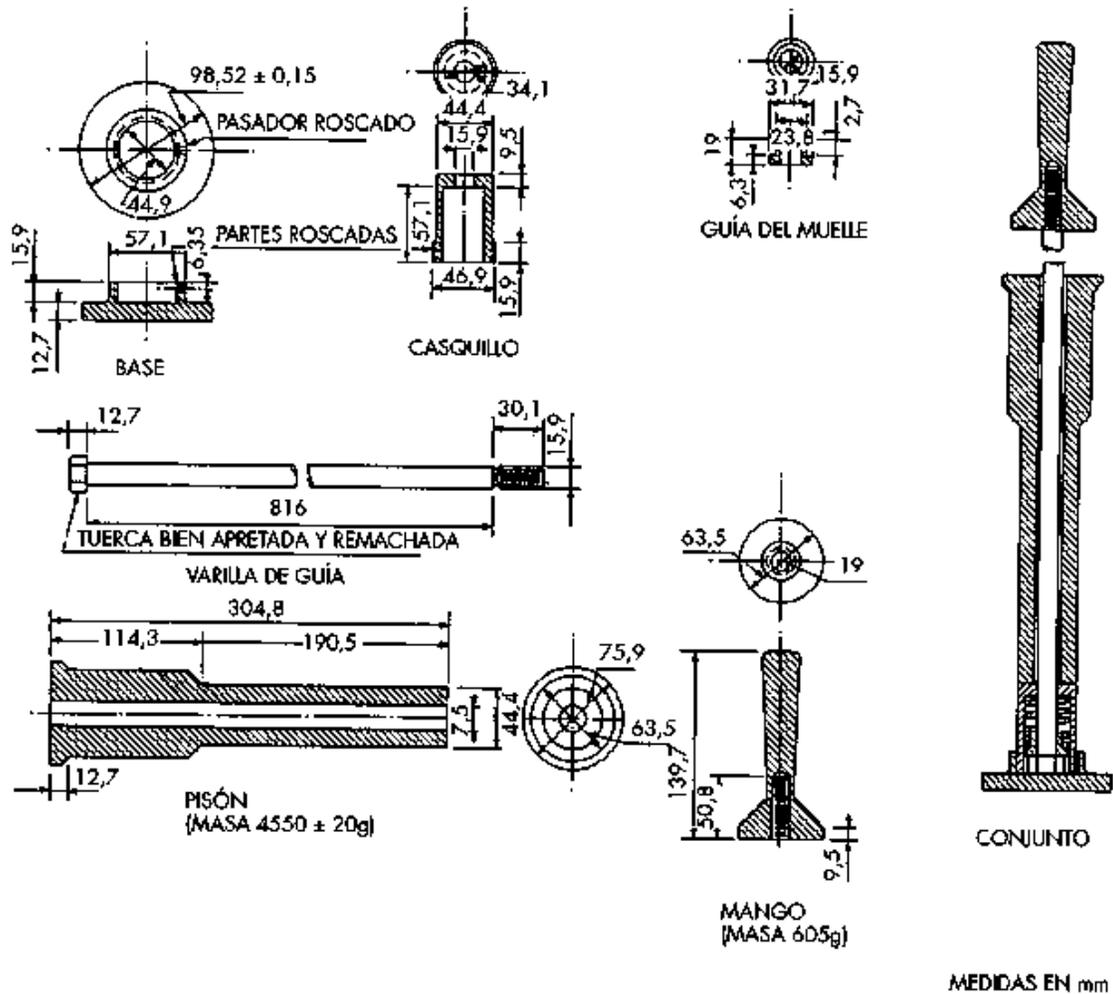


Fig. 4.3.2.- Masa de compactación para el aparato Marshall.

4.3.2.4.- Base de compactación.

Consiste en una pieza prismática de madera de base cuadrada, de 200 mm de lado y 450 mm de altura, provista en su cara superior de una placa cuadrada de acero de 300 mm de lado y 25 mm de espesor, firmemente sujeta en la misma. La madera será de roble, pino u otro tipo cuya densidad seca este comprendida entre 670 770 kg/m³. El conjunto se fijara firmemente a una base de hormigón, debiendo quedar la placa de acero horizontal.

4.3.2.5.- Soporte del molde.

Se utilizara cualquier dispositivo que permita fijar rígidamente y centrar sobre la base de compactación el conjunto del molde, collar y placa de base durante la compactación de las probetas.

4.3.2.6.- Mordazas.

Las mordazas, figura 4.3.3, consisten en dos segmentos cilíndricos con radio de curvatura interior de (50.8 ± 0.1) mm y con sus superficies perfectamente mecanizadas. La mordaza inferior, que termina en una base plana de apoyo, esta provista de dos varillas perpendiculares a la base que sirven de guía, sin rozamiento apreciable, a la mordaza superior.

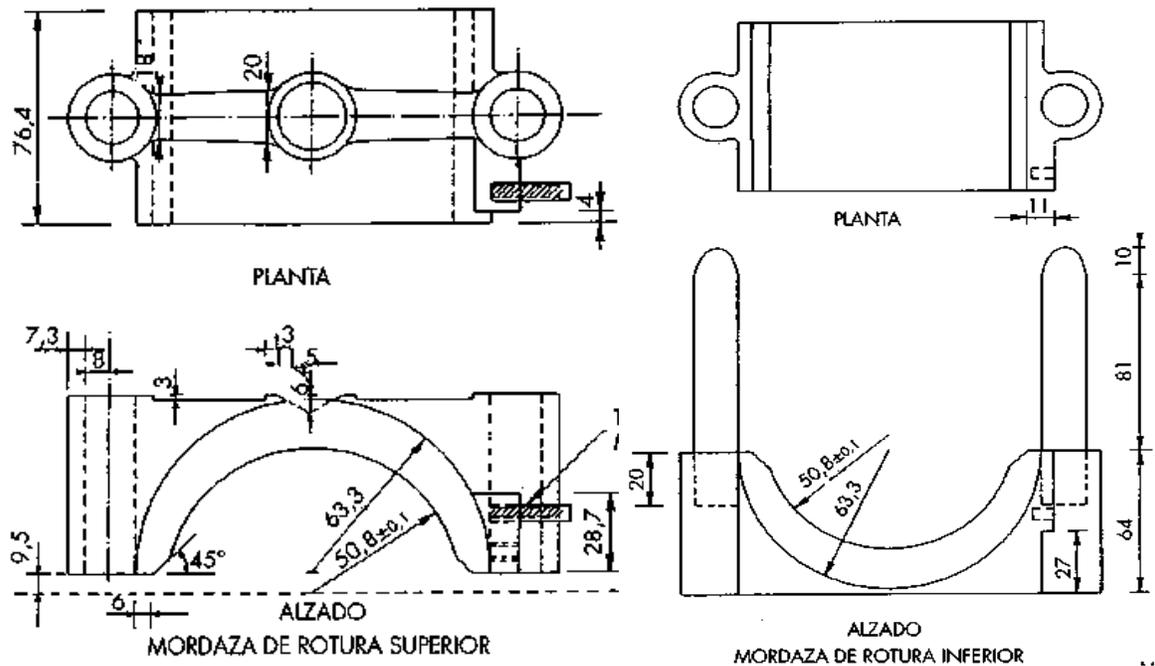


Fig. 4.3.3.- Mordaza (medidas en mm)

4.3.2.7.- Prensa.

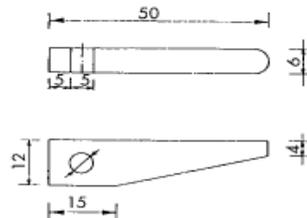
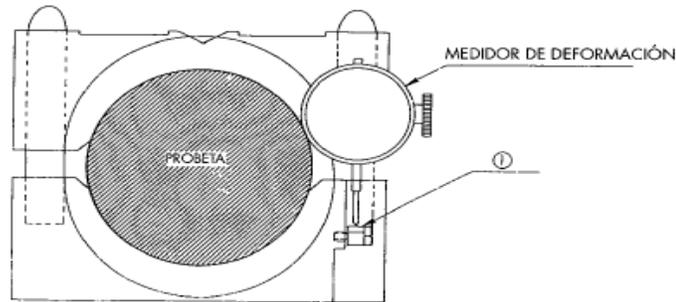
Para la rotura de la probetas se empleara cualquier tipo de prensa, mecánica o hidráulica, que proporcione durante la aplicación de la carga una velocidad uniforme de desplazamiento de la mordaza de (50 ± 2) mm/min. Su carga mínima será de 30 kN (3.000 kgf) y deberá comprobarse frecuentemente que su velocidad durante la carga se mantiene dentro de un margen de error del $\pm 5\%$.

4.3.2.8.- Medidas de la estabilidad y la deformación.

La resistencia de la probeta durante el ensayo se puede medir mediante anillos dinamométricos acoplados directamente a la prensa, y con una precisión de lectura en cualquier punto de la escala del $\pm 2\%$ de la carga. La deformación, o disminución del diámetro de la probeta, puede obtenerse con un comparador dividido en decimas de milímetro (0.1 mm) y de lectura final fija, sujeto firmemente en la mordaza superior y cuyo

vástago se apoya en una palanca ajustable, acoplada en la mordaza inferior (figura 3.4.2.4). En el laboratorio, es preferible disponer de prensas con células de carga y transductor de desplazamiento para el registro gráfico de la curva estabilidad-deformación, que cumplan los requisitos de precisión indicados antes. Una escala adecuada para el registro gráfico puede ser de:

- ϕ 15 mm para cada kN de estabilidad.
- ϕ 10 mm para cada mm de deformación.



MEDIDAS EN mm

① PALANCA DEL MEDIDOR DE DEFORMACIÓN

Fig. 4.3.4.- Dispositivo de ensayo de la probeta de mordaza.

4.3.2.9.- Elementos de calefacción.

Para el calentamiento de los áridos, material bituminoso, conjunto de compactación y maza se empleara una estufa con control termostático, que pueda mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C.

4.3.2.10.- Mezcladora.

Es preferible que la operación de mezclado de los materiales se realice en una mezcladora mecánica de fondo cóncavo, calorifugada y que produzca en el menor tiempo posible una mezcla homogénea a la temperatura requerida. Si la operación de mezclado se realiza a mano, para evitar el enfriamiento de los materiales se debe efectuar este proceso sobre una

placa de calefacción o mechero de gas, tomando las precauciones necesarias para impedir sobrecalentamientos locales.

4.3.2.11.- Baño de agua.

Para sumergir y calentar las probetas se dispondrá de un baño de agua de 50 litros como mínimo de capacidad y profundidad mínima de 150 mm, provisto de control termostático que mantenga la temperatura de ensayo con una precisión de ± 1 °C. el baño tendrá una placa perforada para sostener las probetas de 50 mm de su fondo a 25 mm o más por debajo de la superficie libre del agua.

4.3.2.12.- Termómetros.

Para medir las temperaturas de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se emplearan termómetros metálicos con escala hasta 200 °C y graduación de 1 °C. Para la temperatura del baño de agua se utilizara un termómetro con escala de 20 a 70 °C y sensibilidad de 0.2 °C.

4.3.2.13.- Balanzas.

Una balanza de 2 kg de campo de pesada y 0.1 g. de sensibilidad para pesar las probetas, y otra de 5 kg de campo de pesada y 1 g. de sensibilidad para la preparación de las mezclas.

4.3.2.14.- Material general.

Bandejas, cazos, espátulas, guantes termoaislantes y de goma, lápices grasos, cogedores curvos, discos de papel de filtro, etc.

4.3.3.- Procedimiento.

4.3.3.1.- Preparación de las probetas.

4.3.3.1.1.- Numero de probetas.

En general, el número mínimo de probetas para fabricar es de tres por cada mezcla. Sin embargo, es conveniente incrementar este número una o dos probetas más en el caso de mezclas de granulometría gruesa o abierta, a causa de las mayores dispersiones que se producen en los resultados. Además, si está previsto tener que parafinar probetas para calcular densidades, hay que contar con un mínimo de otras tres probetas para esta determinación, ya que las probetas parafinadas no se deben utilizar para romperlas en la prensa, pues proporcionan resultados anómalos.

4.3.3.1.2.- Preparación de los áridos.

Las distintas fracciones de áridos de que se disponga para la composición de la mezcla se secan en estufa a 105-110 °C hasta masa constante y se separan a continuación por tamizado en seco en el número de fracciones necesarias.

4.3.3.1.3.- Temperaturas de mezcla y compactación.

En el caso de que el ligante sea un betún asfáltico, las temperaturas de mezcla y compactación serán las necesarias para que su viscosidad sea de (170 ± 20) cSt [(85 ± 10) SSF] en el proceso de mezcla y de (280 ± 30) cSt [(140 ± 15) SSF] en el de compactación.

4.3.3.1.4.- Preparación de las mezclas.

- a) Las probetas se fabrican individualmente, pesando sucesivamente en un recipiente de tara conocida las cantidades necesarias de cada fracción, salvo el polvo mineral, para obtener una probeta compactada de (63.5 ± 2) mm de altura. Se coloca a continuación el recipiente en una estufa o placa de calefacción y se calienta la mezcla de áridos a una temperatura que sea, como máximo, 30 °C superior a la especificada para el mezclado en el apartado 4.3.3.1.3.
- b) La cantidad de ligante necesaria para la fabricación de las probetas se calienta en un cazo pequeño tapado, en una estufa y a la temperatura de mezcla prescrita según el apartado 4.3.3.1.3, evitando un calentamiento inicial fuerte. El ligante no debe de estar más de una hora a esta temperatura. El material sobrante se desecha.
- c) A continuación se transfieren los áridos al recipiente para el mezclado, se efectúa con ellos una mezcla ligera en seco, se forma un cráter en su centro y añade por pesada la cantidad exacta de ligante calculada para la mezcla.
- d) En este momento la temperatura de ambos materiales debe estar dentro de los límites especificados en el apartado 4.3.3.1.3, para el proceso de mezclado. Se hace un primer mezclado y, después que los áridos gruesos y finos estén totalmente envueltos por el ligante, se añade el polvo mineral si lo hubiera, y se continua el proceso de mezclado hasta que la mezcla quede homogéneamente cubierta, teniendo cuidado de evitar pérdidas de material, principalmente finos, durante todo el proceso. Es preferible realizar la operación de mezclado en una mezcladora mecánica, a efectos de homogeneidad y uniformidad de las mezclas, aunque también puede realizarse manualmente. En cualquier caso, el tiempo de mezclado debe de ser lo más breve posible para conseguir un completo y homogéneo cubrimiento de todas las partículas minerales.

4.3.3.2.- Compactación de las probetas.

- a) Previamente a la preparación de las mezclas, el conjunto del collar, molde y placa de base, así como la base de la maza de compactación, se limpia bien y calientan a una temperatura entre 95- 150 °C.
- b) Se monta el conjunto de compactación en la base de compactación y se sujeta firmemente mediante el soporte de fijación. Se coloca un papel de filtro circular, del diámetro del molde en su fondo y se vierte sobre él el total de la mezcla recién fabricada, evitando las segregaciones de material; se distribuye bien la mezcla con una espátula apropiada y caliente, por medio de 15 golpes efectuados en su periferia y 10 en su interior; finalmente se alisa la superficie de la mezcla dándole una forma ligeramente convexa.
- c) La temperatura de mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá estar comprendida dentro de los límites establecidos para este proceso en el apartado 4.3.3.1.3. A continuación se le aplican con la maza el número de golpes que se especifique, sobre una cara de la probeta, e inmediatamente se desmonta el collar, se invierte el molde y, fijado de nuevo el conjunto de compactación, se aplica igual número de golpes sobre la otra cara de la probeta.
- d) Una vez compactada la probeta, se debe esperar un tiempo mínimo de 4 horas antes de desmoldarla. Para esta operación, se sustituye la placa de base por el disco extractor y se fuerza suavemente la probeta para que pase desde el molde al collar, con ayuda del mecanismo de extracción. Una vez extraída, se quitan los papeles de filtro y se coloca la probeta cuidadosamente sobre una superficie plana, limpia y en un lugar fresco, hasta el momento del ensayo; en obra se esperara un tiempo mínimo de 6 horas y en el laboratorio un máximo de 24 horas desde su fabricación.
- e) Las mezclas que necesiten de un periodo de curado adicional se mantendrán dentro del molde hasta que adquieran la cohesión suficiente suficiente para poderlas desmoldar.
- f) Cuando la probetas se fabriquen en obra con mezcla procedente de una planta asfáltica, la temperatura de compactación debe ser la misma que se especifica para el tipo de ligante empleado, según el apartado 4.3.3.1.3. Si se va a realizar el ensayo con mezclas ya fabricadas y frías, se comenzara calentando en estufa, a una temperatura de 30 °C inferior a la especificada para el tipo de ligante, la cantidad necesaria para obtener por cuarteo las porciones precisas, de unos 1200 g, para fabricar cada probeta. Estas porciones se calientan entonces a la temperatura de compactación durante una hora, realizándose seguidamente esta operación en la forma referida. No se debe emplear una mezcla que haya sido ya calentada.

4.3.3.3.- Densidad y análisis de huecos.

Las densidades de las probetas se determinan tan pronto como se hayan enfriado a temperatura ambiente. La norma NLT.168 describe los procedimientos para determinar la densidad relativa de las mezclas bituminosas compactadas, así como los cálculos para los distintos contenidos de huecos.

4.3.3.4.- Ejecución del ensayo.

Se limpia con cuidado la superficie interior de las mordazas y sus varillas de guía, engrasando ligeramente estas para favorecer el deslizamiento de la mordaza superior. Durante el ensayo, las mordazas deberán estar a una temperatura comprendida entre 20 °C y 40 °C, empleando un baño de agua para calentarlas si fuera necesario.

4.3.3.4.1.- Calentamiento de las probetas.

Antes de ensayarlas, las probetas se sumergen durante (50 ± 10) minutos en un baño de agua a (60 ± 1) °C.

4.3.3.4.2.- Rotura de las probetas.

Una vez cumplido el tiempo de calentamiento en el baño, se saca la probeta y se sitúa centrada sobre la mordaza colocada en el plato inferior de la prensa; se monta la mordaza superior, juntamente con el dispositivo medidor de deformación, puesto a cero para la lectura de la deformación absoluta de la probeta durante el ensayo. Se aplica entonces la carga a la probeta a la velocidad especificada en el apartado 4.3.2.7, hasta que se produce su rotura; el tiempo transcurrido desde que se saca la probeta del baño hasta el instante de la rotura no debe exceder de treinta segundos.

4.3.3.4.2.1.- Prensas sin registro gráfico.

Con este tipo de prensas, la rotura o carga máxima se considera que tiene lugar en el momento de producirse la primera parada o máximo instantáneo observado en el comparador dinamométrico, ignorando cualquier posible avance intermitente posterior; este valor se define como la estabilidad Marshall de la probeta. En este instante se inmoviliza el desplazamiento del medidor de deformación; la lectura indicada por la aguja define como la deformación Marshall de la probeta, y expresa la disminución que experimenta su diámetro entre la carga cero y el instante de rotura o carga máxima.

4.3.3.4.2.2.- Prensas con riesgo gráfico.

El ensayo con prensas provistas de registro gráfico continuo de la curva estabilidad-deformación tiene la ventaja de evitar los posibles errores de lectura del operador; además, permite estudiar las características de deformación de la probeta durante el ensayo, por lo que está especialmente recomendado para laboratorios.

En la figura 4.3.5 se representa un gráfico de este tipo en el cual, y al objeto de poder correlacionar los valores de estabilidad y deformación entre prensas con registro y sin él, se definen los siguientes parámetros:

- a) Estabilidad Marshall máxima E_M
- b) Deformación Marshall máxima D_M
- c) Estabilidad Marshall de proyecto E_P

d) Deformación Marshall de proyecto D_p

Correspondiendo la estabilidad y deformación Marshall máximas a los valores de ambos parámetros equivalentes a las lecturas realizadas en las prensas sin registro. Se definen los nuevos parámetros de estabilidad Marshall de proyecto E_p , como el 95 % de la estabilidad Marshall máxima, y como deformación Marshall de proyecto D_p , la comprendida entre la abscisa correspondiente a la carga de 500 N, carga de asentamiento, y la abscisa correspondiente al 95 % de la estabilidad Marshall máxima, E_M .

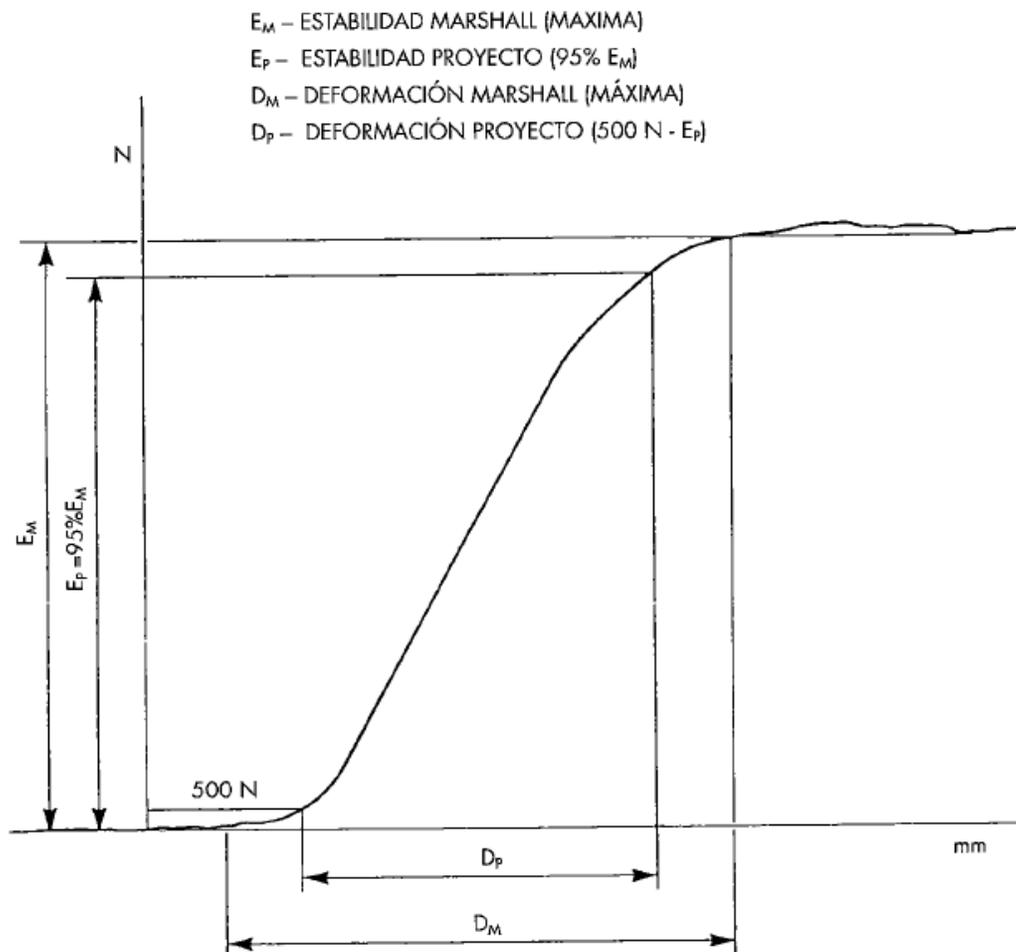


Fig. 4.3.5.- Estabilidad y deformación en el ensayo Marshall.

4.3.3.4.3.- Correcciones de la estabilidad por altura.

La estabilidad de la probeta obtenida directamente en el ensayo hay que corregirla en función de su altura o espesor, multiplicándola por un factor de corrección, para obtener la verdadera estabilidad Marshall. En la Tabla 4.3.1 se indican los factores correspondientes en función del volumen o espesor de la probeta, lo que implica el conocimiento previo de este dato del ensayo. Esta corrección es de aplicación tanto a las probetas fabricadas en molde como a los testigos extraídos de pavimento.

VOLUMEN DE LA PROBETA (cm ³)	ESPEJOR APROXIMADO DE LA PROBETA (mm)	FACTOR DE CORRECCION
200-213	25.40	5.56
214-225	27.00	5.00
226-237	28.60	4.55
238-250	30.20	4.17
251-264	31.80	3.85
265-276	33.30	3.57
277-289	34.90	3.33
290-301	36.50	3.03
302-316	38.10	2.78
317-328	39.70	2.50
329-340	41.30	2.27
341-353	42.90	2.08
354-367	44.50	1.92
368-379	46.00	1.79
380-392	47.60	1.67
393-405	49.20	1.56
406-420	50.80	1.47
421-431	52.40	1.39
432-443	54.00	1.32
444-456	55.60	1.25
457-470	57.20	1.19
471-482	58.70	1.14
483-495	60.30	1.09
496-508	61.90	1.04
509-522	63.50	1.00
523-535	65.10	0.96
536-546	66.70	0.92
547-559	68.30	0.89
560-573	69.90	0.86
574-585	71.50	0.83
586-598	73.00	0.81
599-610	74.60	0.78
611-625	76.20	0.76

Tabla 4.3.1.- Corrección de estabilidad.

4.3.4.- Resultados

4.3.4.1.- Definiciones.

4.3.4.1.1.- Estabilidad Marshall.

Se define la estabilidad Marshall, como la carga máxima, en N, para romper la probeta, definida según el tipo de prensa utilizado (apartados 4.3.3.4.2.1. o 4.3.3.4.2.2.) y multiplicada por el factor de corrección por altura correspondiente, según la tabla 4.3.1. el resultado se expresa con una aproximación de 100 N.

4.3.4.1.2.- Deformación Marshall.

Se define la deformación Marshall, como la disminución de diámetro vertical, en mm que experimenta una probeta entre el comienzo de la carga y el instante de su rotura, definidos ambos puntos según el tipo de prensa utilizado (apartados 4.3.3.4.2.1. ó 4.3.3.4.2.2.). El resultado se expresa con una aproximación de 0.1 mm.

En el caso de utilizarse una prensa sin registro gráfico, los resultados de estabilidad y deformación serán los obtenidos según el apartado 4.3.3.4.2.1.

Si se utiliza una prensa con registro gráfico, los resultados incluirán los cuatro valores de estabilidad y deformación, máxima y de proyecto, definidos en el apartado 4.3.3.4.2.2.

4.3.4.2.- Expresión de los resultados.

Los resultados de la estabilidad y deformación serán los valores medios respectivos de un mínimo de tres probetas ensayadas, obtenidas según 4.3.4.1.1 y 4.3.4.1.2. Si el ensayo se realiza en una prensa con registro gráfico, los resultados deben incluir los valores medios respectivos de los cuatro parámetros definidos en 4.3.4.1.3.

Se considera que los resultados del ensayo son aceptables si la desviación de la estabilidad E y deformación D de cada probeta con relación a la medida es igual o menor que el valor V% de la medida. Si los valores de una o más probetas difieren de la medida en más de V% se rechaza el valor más disparado y se obtiene el valor medio de las restantes probetas. Si después de esto, un valor difiere del valor de la nueva medida en más de V% se repetirá la totalidad del ensayo.

$$V\% \text{ de estabilidad, } V_E = 15 \%$$

$$V\% \text{ de deformación } V_D = 20 \%$$

Juntamente con los valores definidos en 4.3.4.2, con los resultados se incluirá la siguiente información:

- ϕ Origen de la muestra (laboratorio, obra, muestra original o recalentada, testigo, etc.).
- ϕ Temperaturas de mezclado y compactación.
- ϕ Espesor o volumen de la probeta o testigo.
- ϕ Datos de la mezcla (tipo, granulometría, ligante bituminoso y dosificación, etc.) que se consideren de interés.

4.3.5.- Determinación del contenido óptimo de ligante.

Si se utiliza el método Marshall para la determinación del contenido óptimo de ligante de una mezcla de áridos, se preparan en el laboratorio series de probetas con una granulometría fija y determinada y con contenidos crecientes de ligante, fabricadas y posteriormente ensayadas siguiendo el procedimiento descrito en esta norma.

Para el estudio de una dosificación se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

4.3.5.1.- Áridos.

Las muestras de áridos remitidas al laboratorio serán en todo momento representativas de los distintos acopios existentes, cuyo control, en todo caso, es conveniente llevarlo por el método de las medidas móviles. No es adecuado recurrir a un machaqueo adicional del árido en el laboratorio para suplir carencias de tamaños.

4.3.5.2.- Dosificación.

Para el estudio de la dosificación en el laboratorio se debe utilizar como granulometría más representativa de la mezcla la obtenida mediante el control de los acopios por el método de las medidas móviles, ajustando a esta granulometría y con porcentajes crecientes de uno en uno de ligante, a partir del porcentaje mínimo determinado por el ensayo de envuelta. El número mínimo de probetas por cada serie será de tres, que puede aumentarse a cuatro o cinco en el caso de mezclas más abiertas. Además, si se va a determinar la densidad en probetas más, como mínimo, para esta determinación.

4.3.5.3.- Cálculo de densidad y huecos.

Previamente hay que determinar la densidad de la mezcla de áridos según la norma NLT-167. "Densidad relativa de la mezcla de áridos en aceite de parafina". Para la determinación de la densidad de las probetas y cálculo de huecos se empleará la norma NLT-168 "Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas".

4.3.5.4.- Gráficos.

Una vez ensayadas las probetas, con los valores medios de la estabilidad, deformación, densidad y contenidos de huecos, se dibujan en función de los porcentajes de ligante, con líneas de trazo suave, los siguientes gráficos:

Estabilidad	% de ligante
Deformación	% de ligante
Densidad relativa	% de ligante
Huecos en mezcla	% de ligante
Huecos en áridos	% de ligante

En el caso de utilizar prensa con registro gráfico, la estabilidad y deformación máximas y de proyecto, se obtendrán a partir de los valores determinados según el apartado 4.3.3.4.2.2, de esta norma.

Una vez calculados todos los parámetros de la mezcla, se analizan los valores obtenidos y, aplicando los criterios basados en la especificación de proyecto, se determina el contenido óptimo de ligante.

4.3.6.- Precisión.

Los datos de precisión, repetibilidad, r , y reproducibilidad R que se transcriben en la Tabla 4.3.2 se han estimado por la DIN 1996/11 y NL-Standard para asphalt concrete:

	Repetibilidad		Reproducibilidad	
	Desviación típica, σ	r	Desviación típica, σ	R
Estabilidad (kN)	0.61	1.70	0.78	2.20
Deformación (mm)	0.25	0.70	0.29	0.80

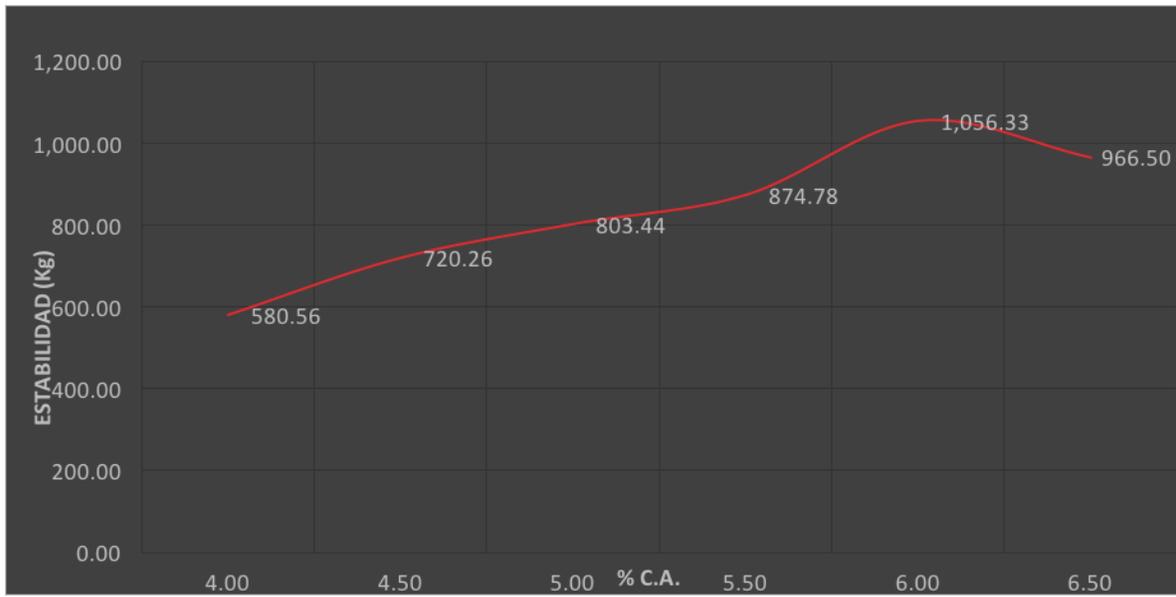
Tabla 4.3.2.- Regresión y correlación.

Si de la observación de la curva de huecos en áridos se manifiesta una clara dificultad para cumplir las especificaciones, se estudiarán otras granulometrías teniendo en cuenta que los porcentajes de ligante adecuados deben corresponder a la rama descendente de esta curva de huecos en áridos.

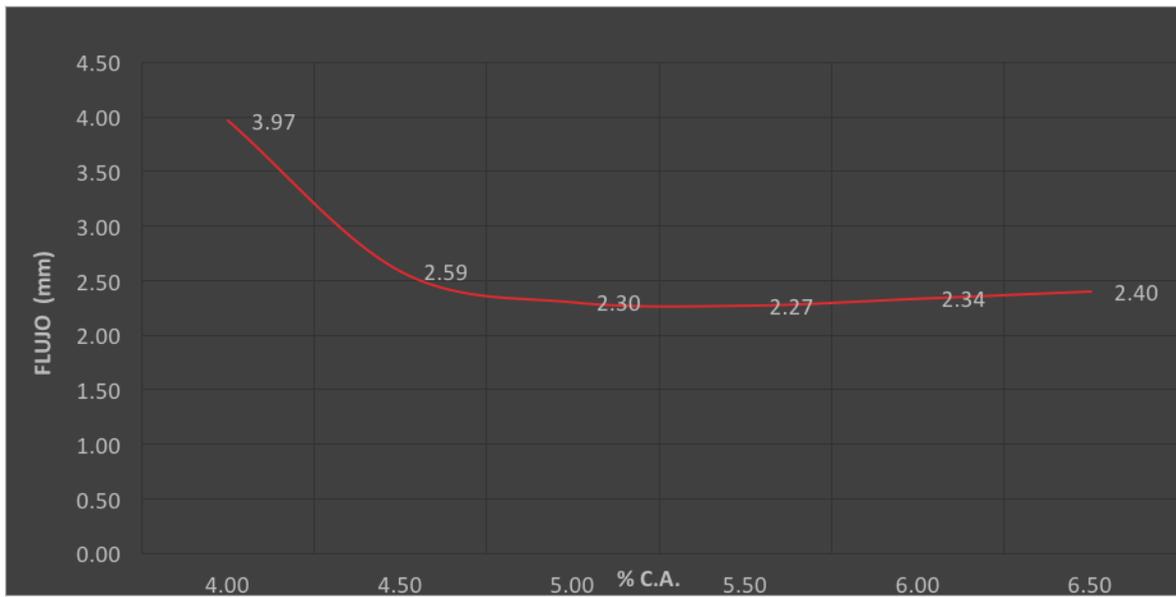
Graficas de la prueba Marshall

Mezcla convencional

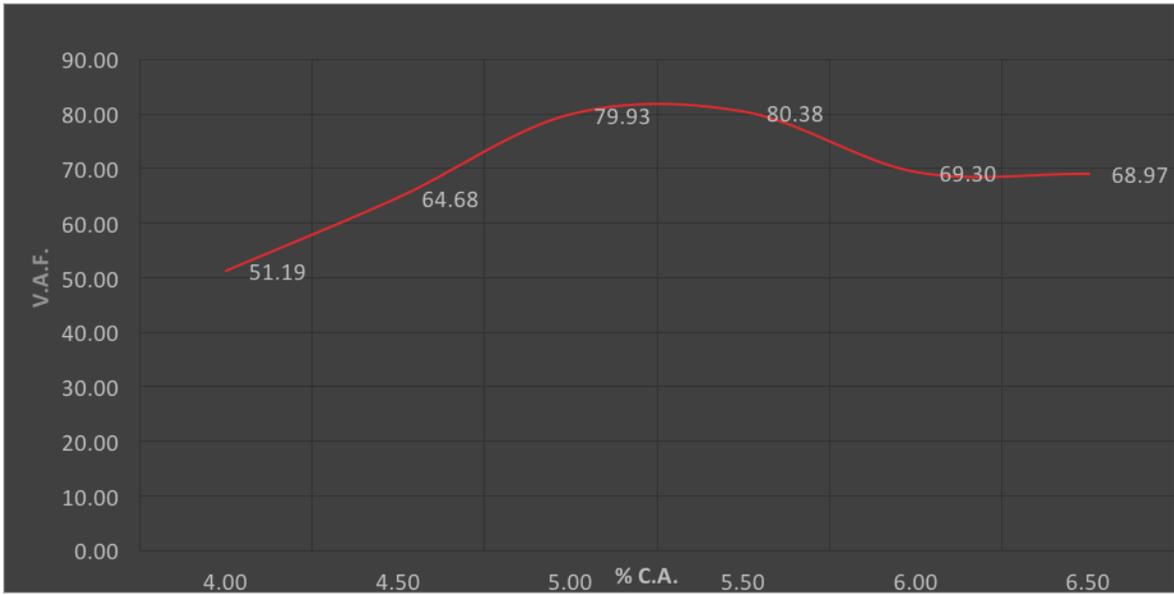
ESTABILIDAD



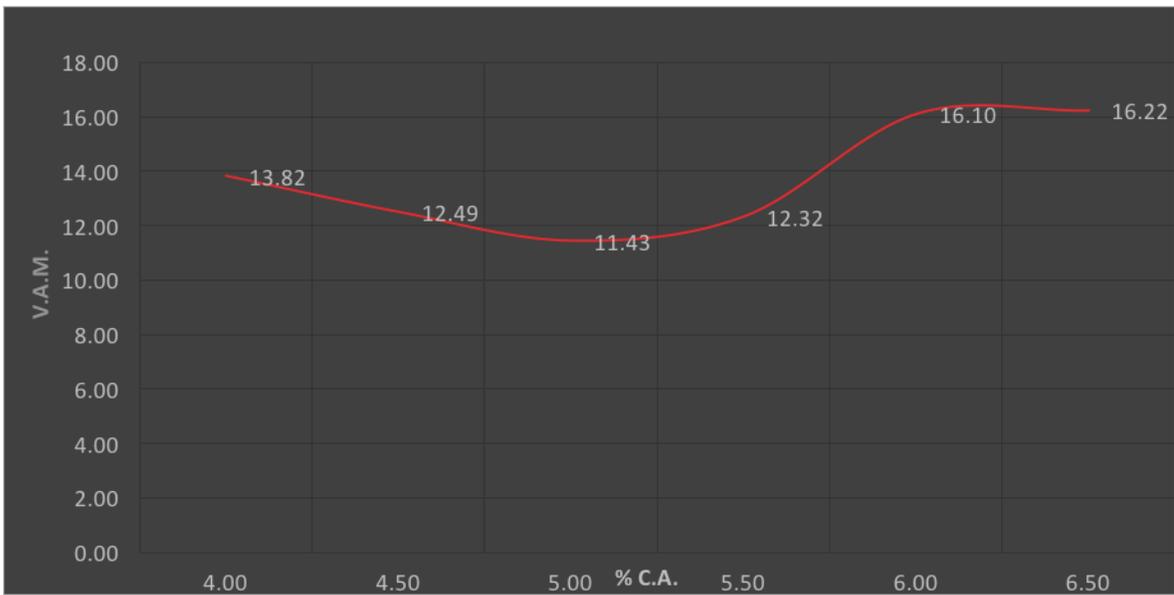
FLUJO



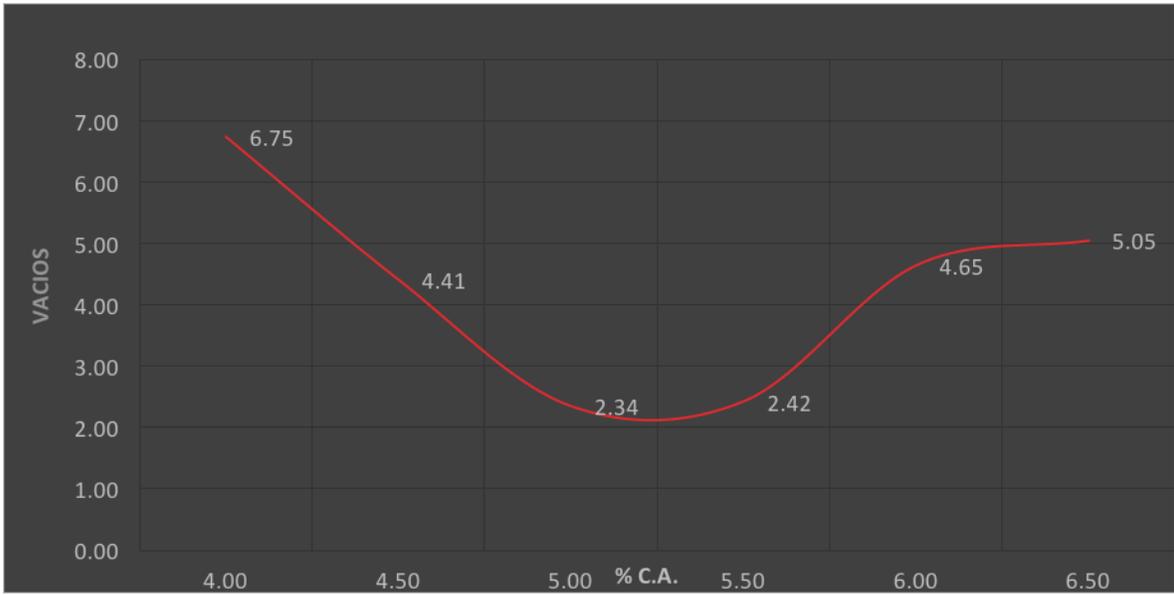
V.A.F



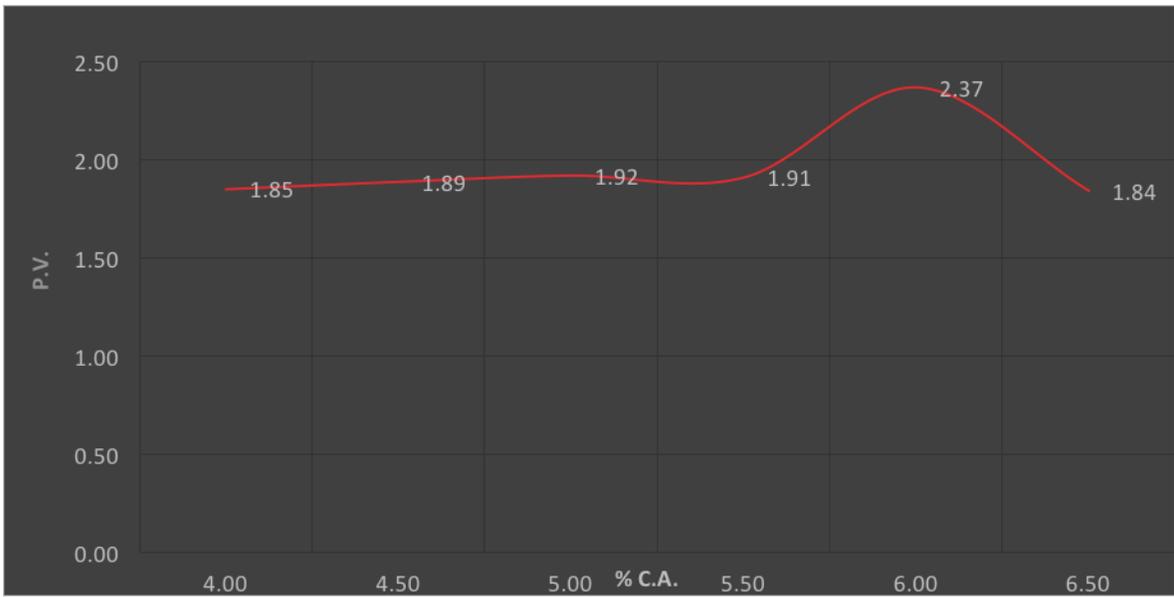
V.A.M.



VACIOS



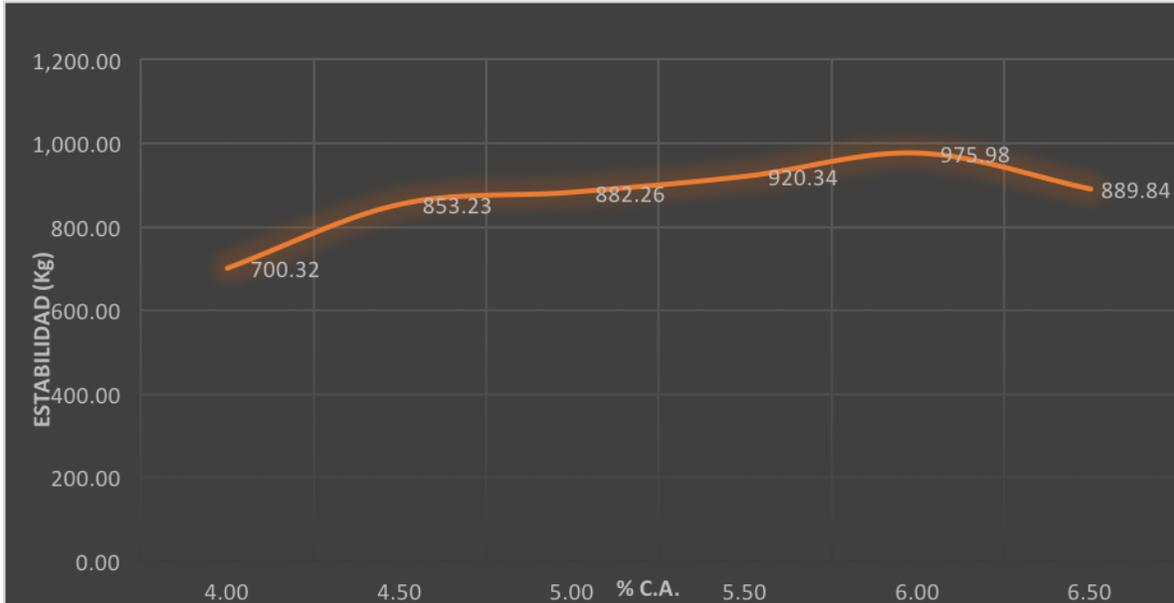
P.V.



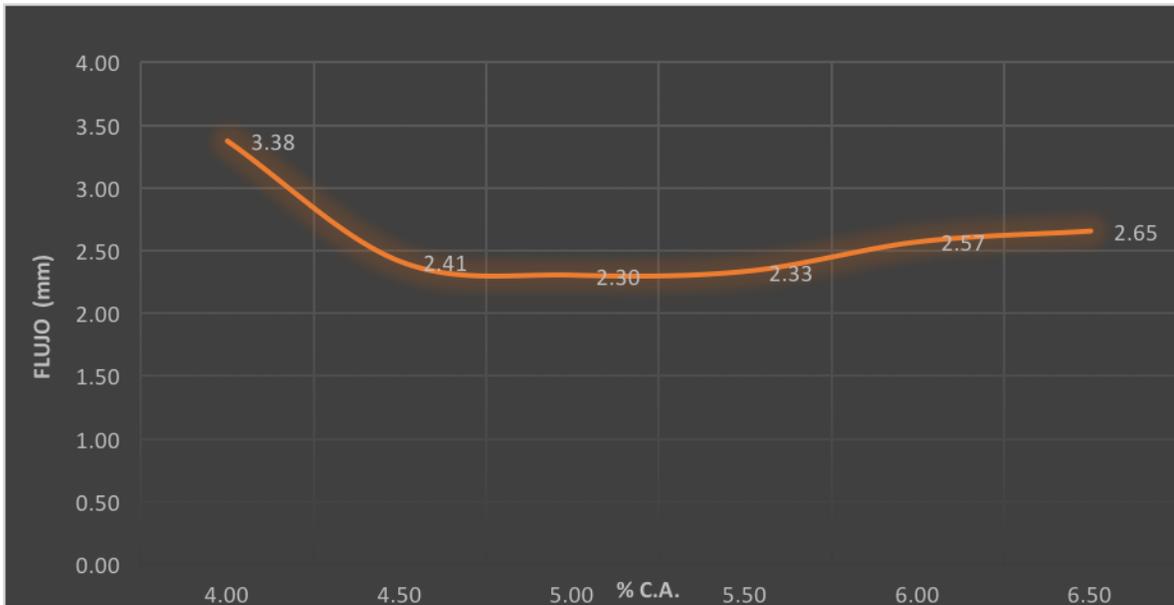
Graficas de la prueba Marshall

Mezcla con modificador

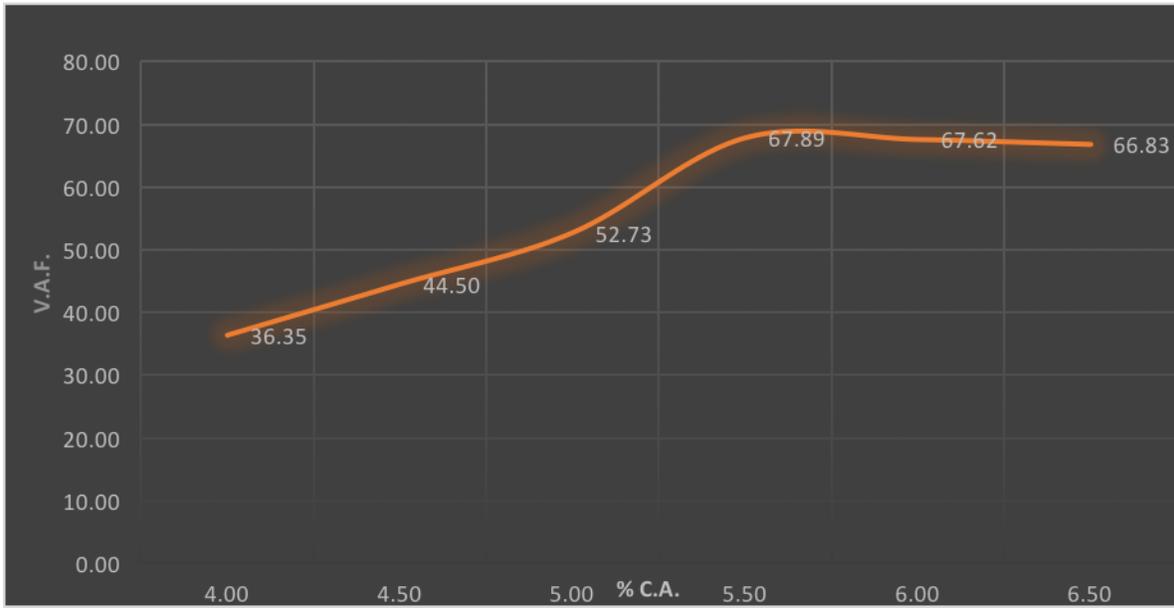
ESTABILIDAD



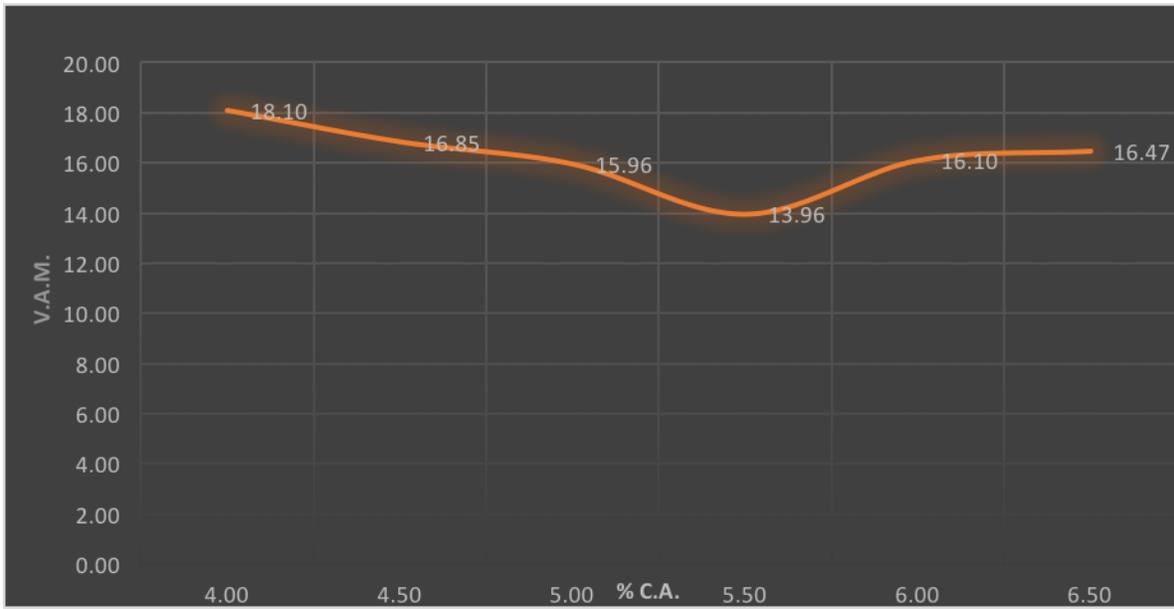
FLUJO



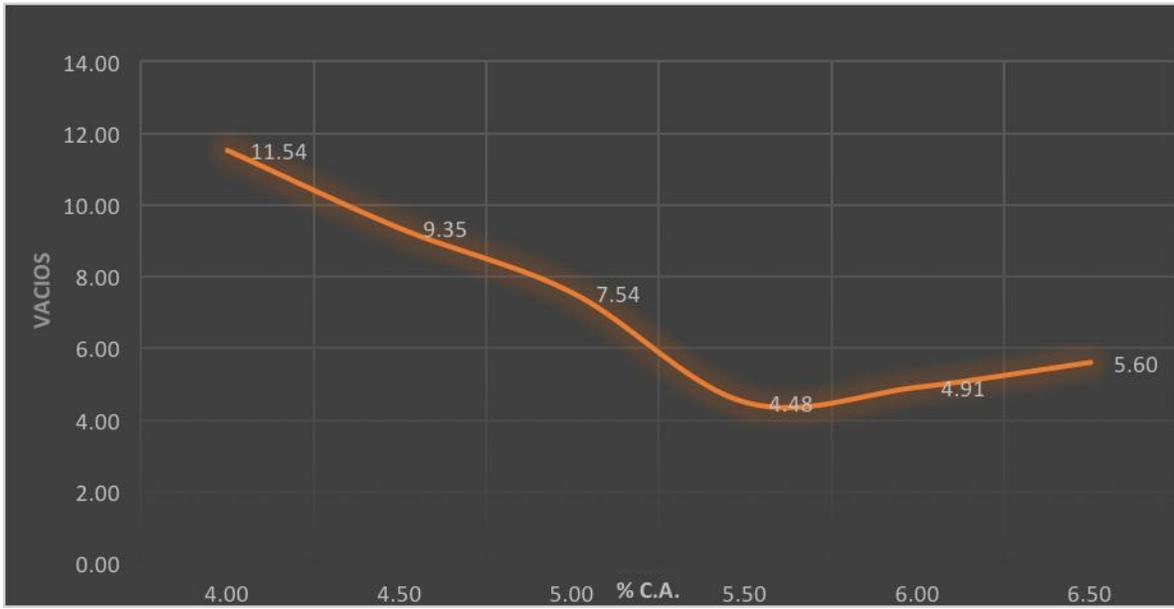
V.A.F.



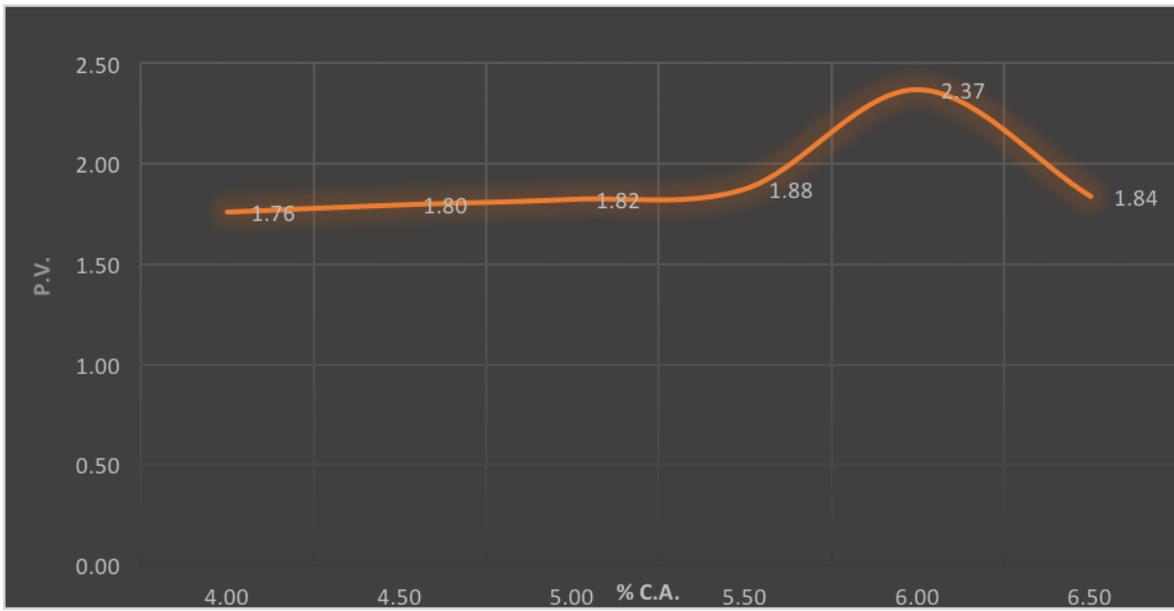
V.A.M.



VACIOS



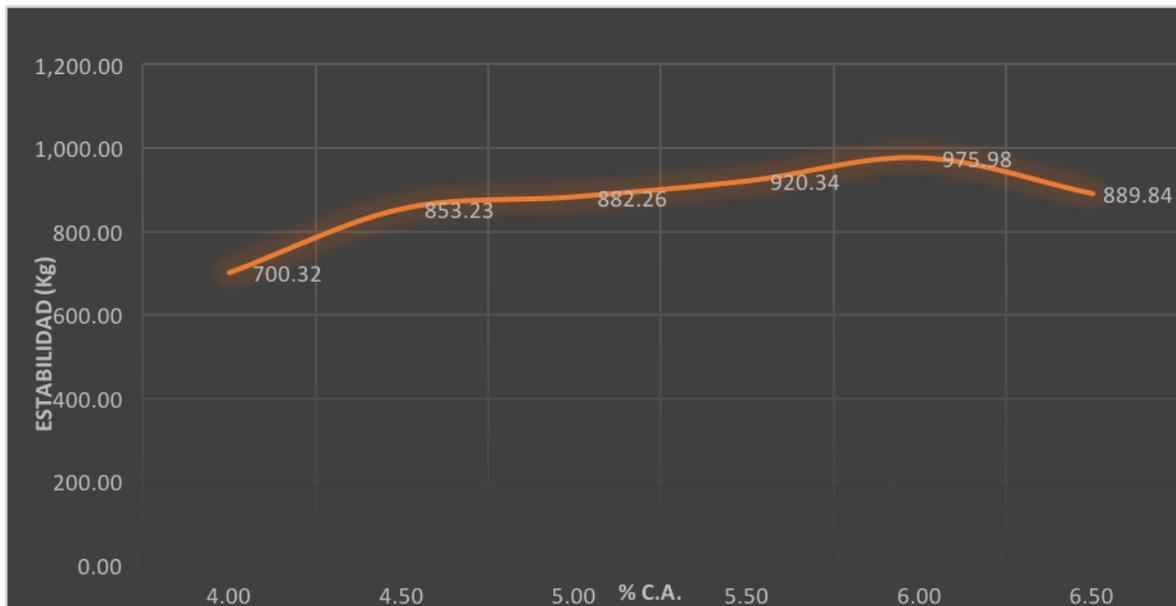
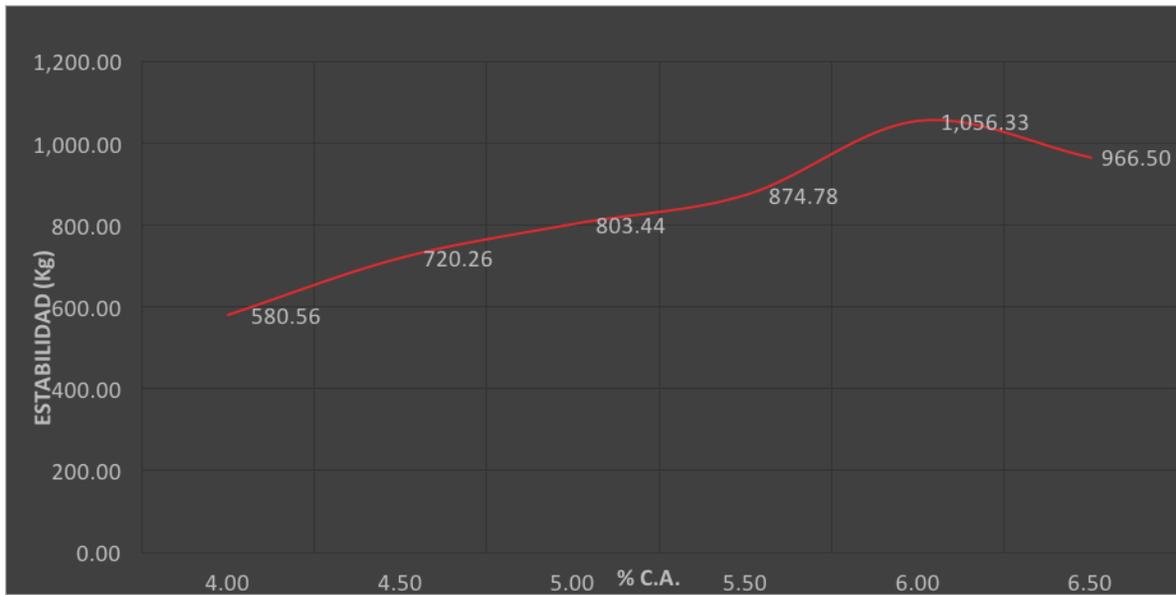
P.V.



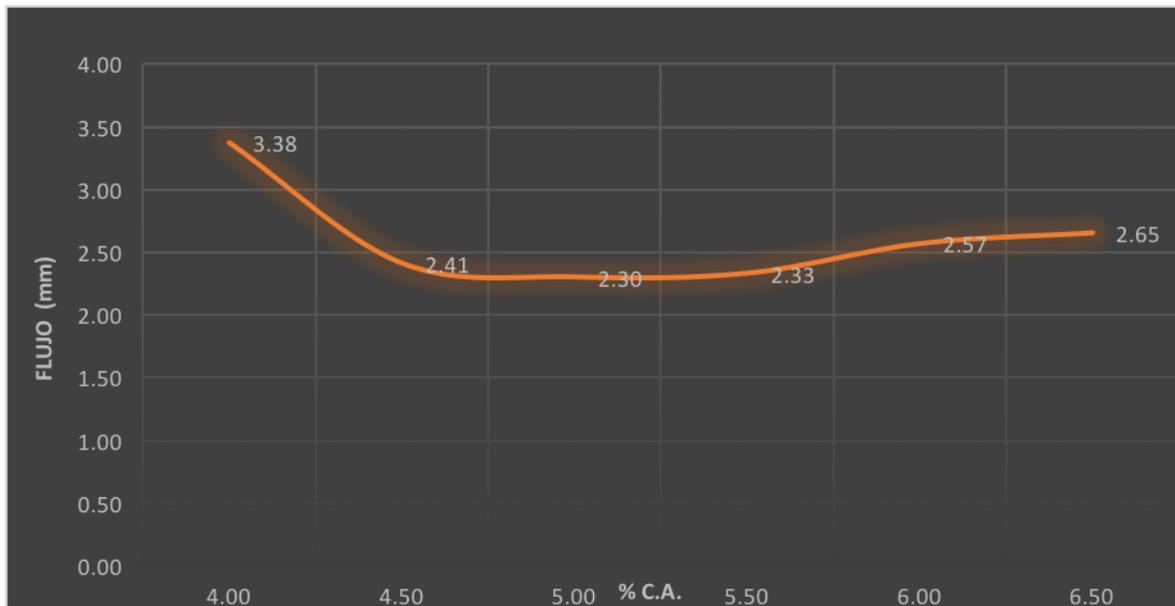
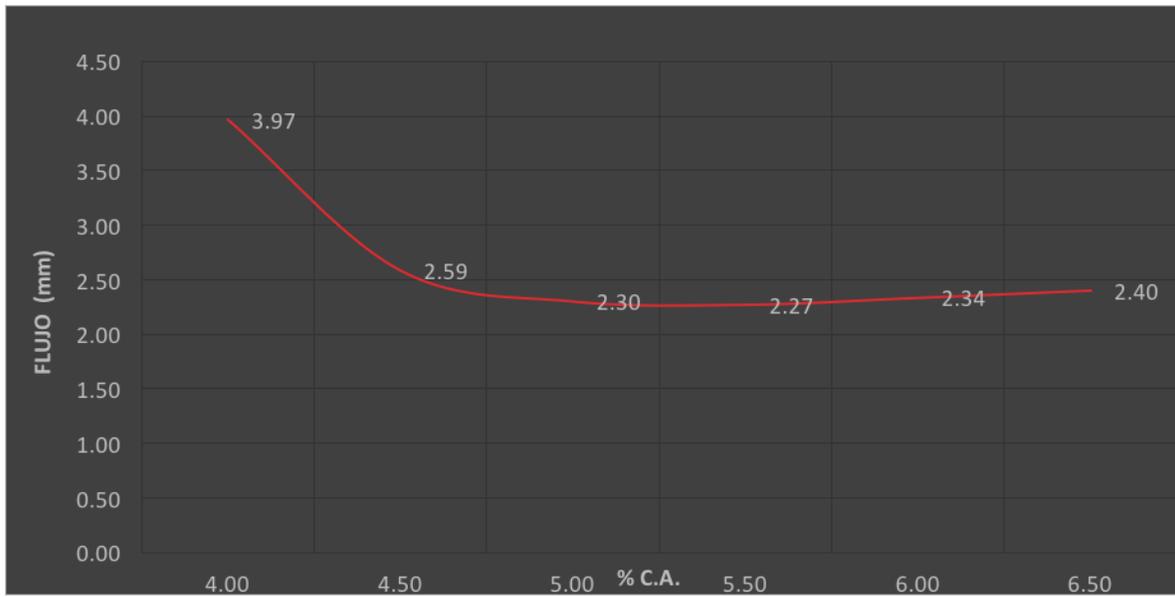
CAPITULO 5:

COMPARATIVO DE RESULTADOS

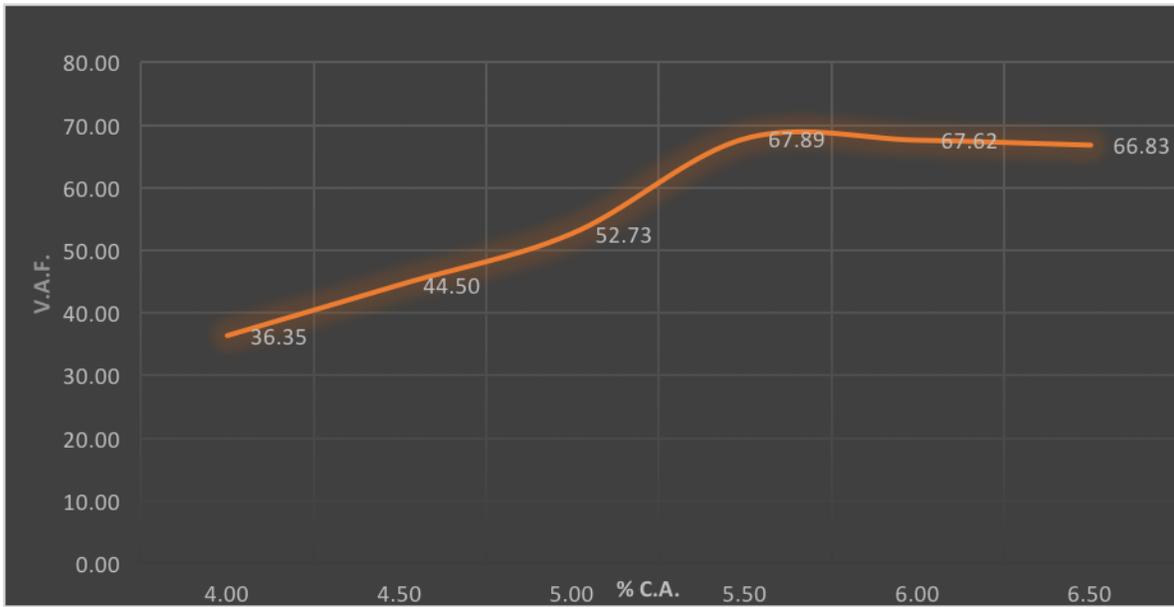
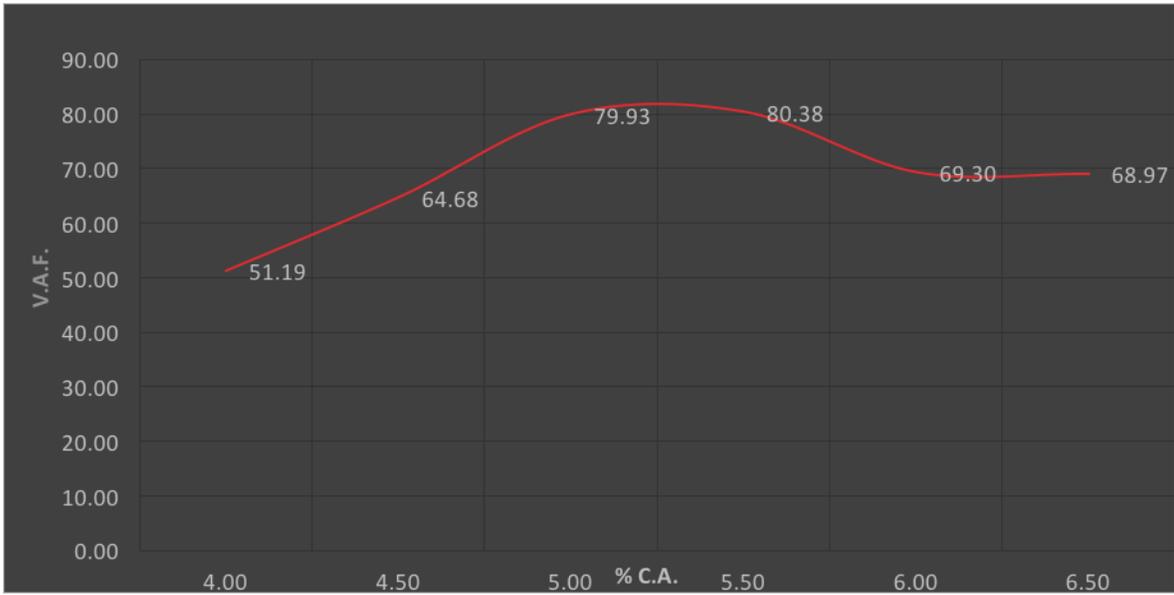
ESTABILIDAD M. CONVENCIONAL – ESTABILIDAD M. MODIFICADA



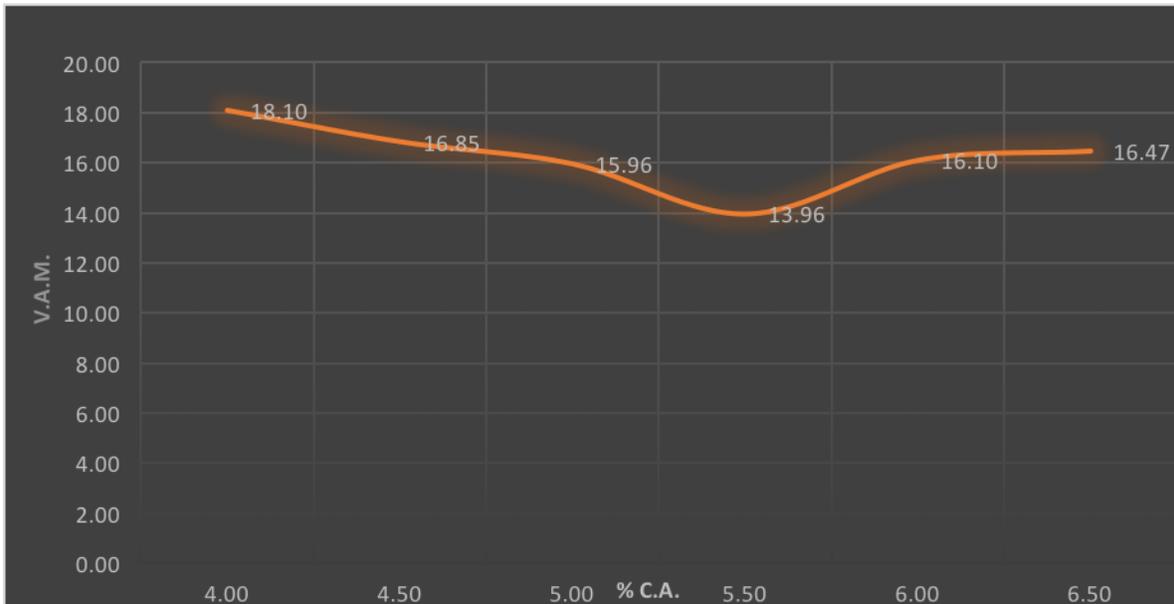
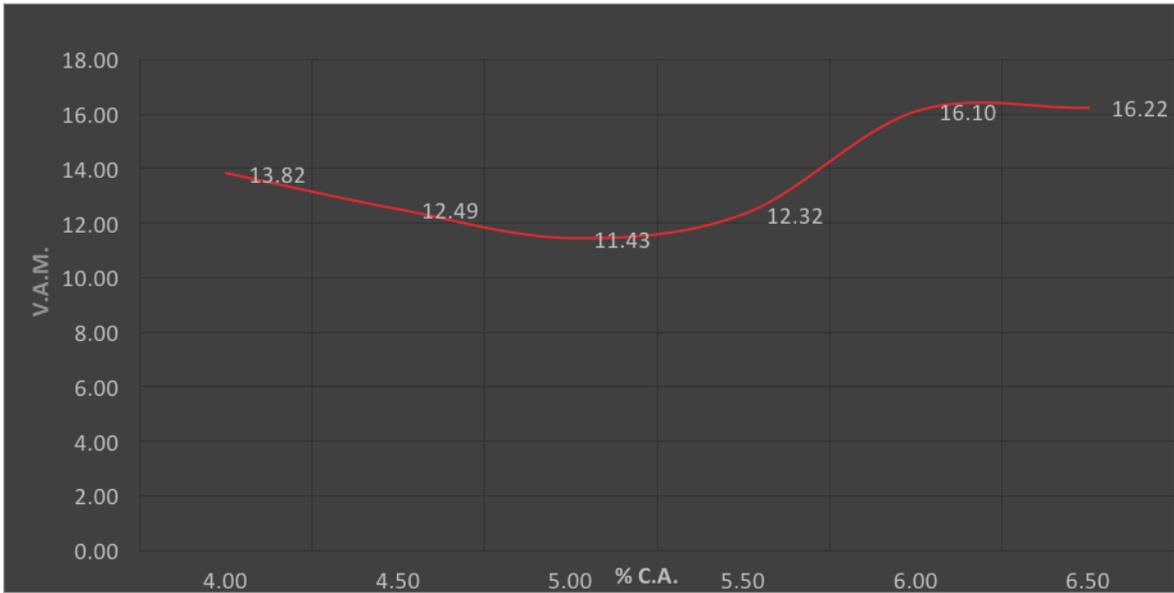
FLUJO M. CONVENCIONAL – FLUJO M. MODIFICADA



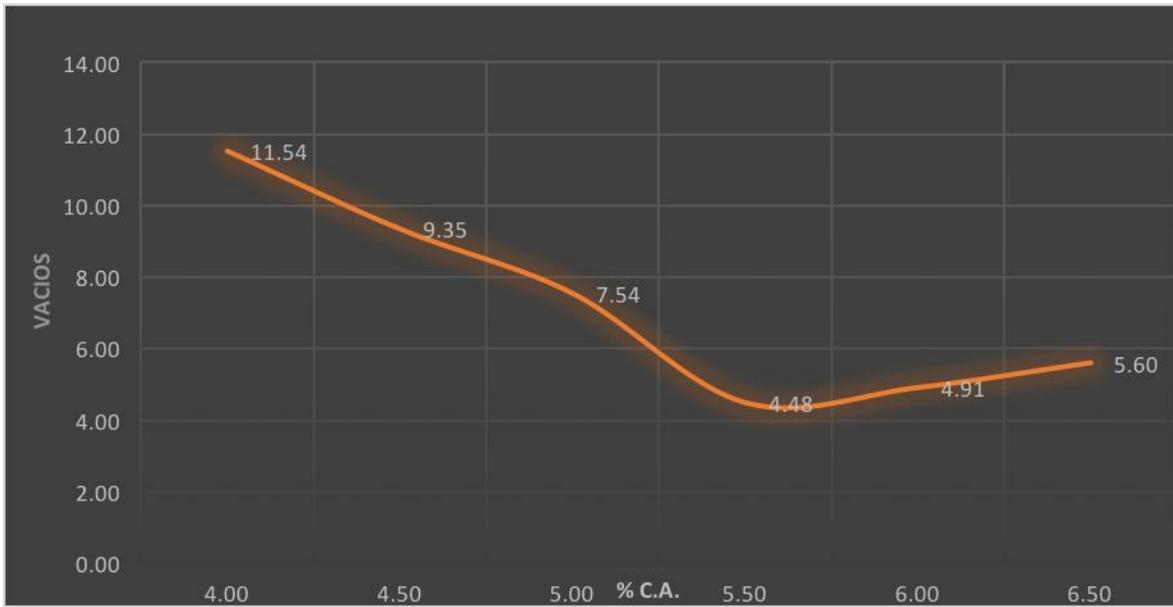
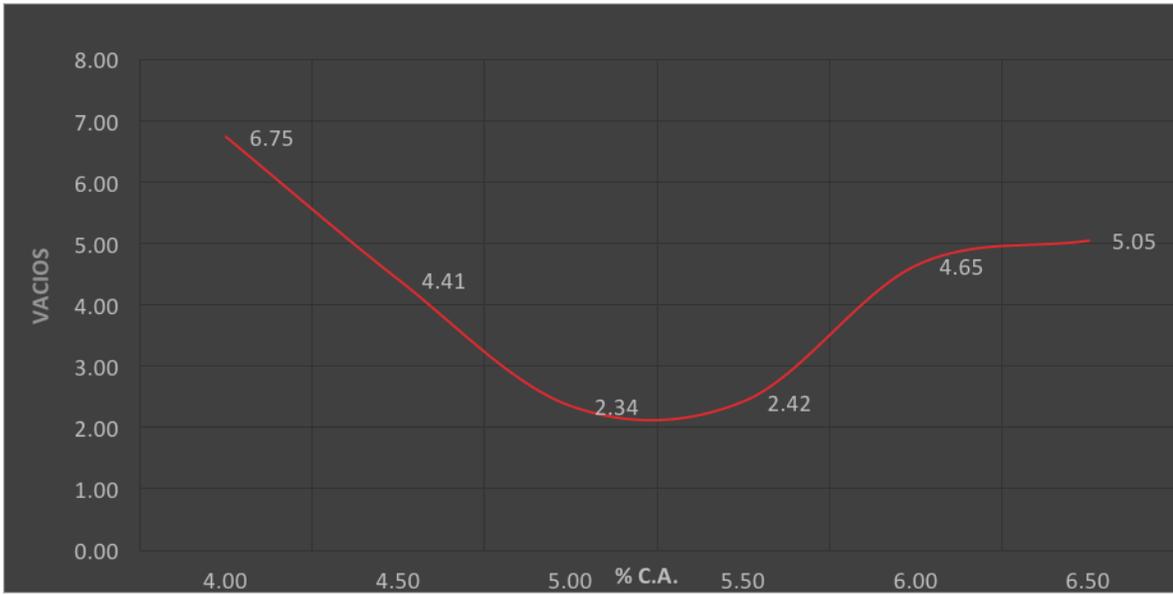
V.A.F. M. CONVENCIONAL – V.A.F. M. MODIFICADA



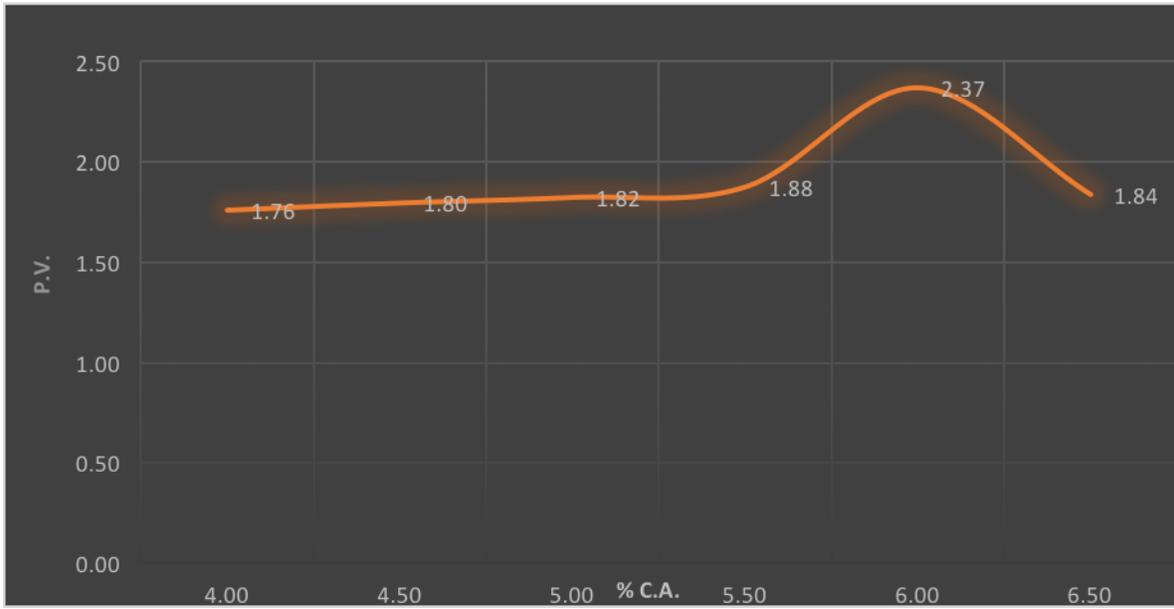
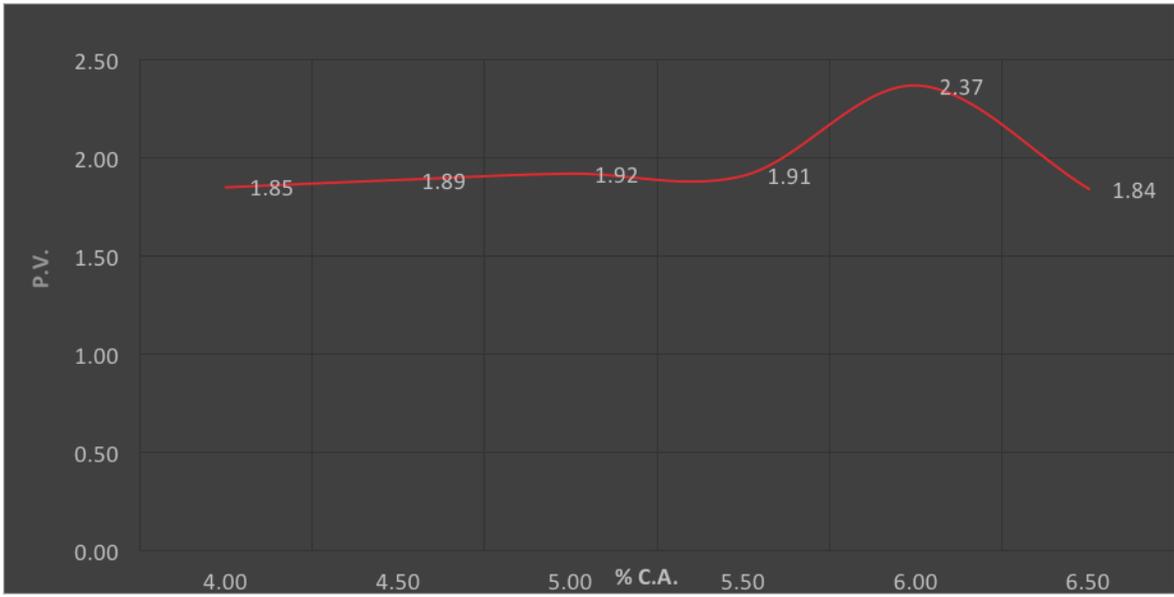
V.A.M. M. CONVENCIONAL – V.A.M. M. MODIFICADA



VACIOS M. CONVENCIONAL – VACIOS M. MODIFICADA



P.V. M. CONVENCIONAL – P.V. M. MODIFICADA



FUENTES DE CONSULTA

- 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>)