



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

**“ANÁLISIS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO
MODIFICADO CON POLÍMERO”.**

Tesis para optar al título de:
Ingeniero Constructor.

Profesor Patrocinante:
Sr. Luís Collarte Concha.
Ingeniero Civil. M. Sc. en Ingeniería Civil.
Especialidad Hidráulica Mecánica de Suelos.

**FERNANDO ANDRES WULF RODRIGUEZ
VALDIVIA – CHILE**

2008

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

CAPITULO I:	9
Generalidades	9
1.1.- Historia del Asfalto.	9
1.2.- ¿Qué es un asfalto?	10
1.3.- Obtención del asfalto en refinerías.	13
1.3.1.- Destilación Primaria.	14
1.3.2.- Destilación al Vacío.	14
1.3.3.- Desasfaltización con Propano o Butano.	14
1.4.- Composición del Asfalto.	15
1.5.- Características del Asfalto.	17
1.6.- Tipos de Asfalto.	17
1.7.- Función del asfalto en los Pavimentos.	20
1.8.- Restricciones al Empleo.	20
1.9.- Transporte y Almacenamiento.	21
CAPITULO II:	22
Asfalto Modificado con Polímero.	22
2.1.- Definición de Polímero.	22
2.2.- ¿Qué es un asfalto modificado?	22
2.3.- Principales modificadores utilizados en el Asfalto.	23
2.4.- ¿Por qué se modifican los asfaltos?	25
2.5.- Modificación del Asfalto.	25
2.6.- Estructura de los Asfaltos Modificados.	26
2.7.- Compatibilidad de los Polímeros.	27
2.8.- Técnicas para modificar Asfaltos.	28

2.9.- Cambio de Propiedades en el ligante asfáltico.	30
2.10.- Proceso Constructivo del Asfalto Modificado.	31
CAPITULO III:	32
Capas Asfálticas Estructurales.	32
3.1.- Tipos de clasificación de una mezcla asfáltica.	33
3.2.- Características y Comportamiento de las Mezclas.	33
3.3.- Parámetro de Diseño de Mezclas.	36
CAPITULO IV:	37
4.1.- Pruebas de Experimentación.	37
4.1.1.- Granulometrías.	38
4.1.2.- Constantes físicas e Hídricas.	40
4.1.2.1.- Método para determinar la densidad aparente.	40
4.1.2.2.- Método para determinar la densidad real, densidad neta y la absorción de agua en pétreos finos.	42
4.1.2.3.- Método para determinar la densidad real, densidad Neta y la absorción de agua en pétreos gruesos.	43
4.1.2.4.- Calculo de la Densidad Real Seca de la Mezcla de Agregados.	46
4.1.2.5.- Método para determinar la cubicidad de partículas.	46
4.1.2.6.- Desgaste de los Ángeles.	47
4.1.2.7.- Índice de Plasticidad.	48
4.1.3.- Dosificación de Áridos en Peso.	48
4.1.4.- Características de la Mezcla.	48
4.2.- Ensaye Marshall.	49
4.2.1.- Parámetros Marshall (Asfalto Convencional).	50
4.2.1.1.- Calculo de la Densidad (8.302.38 del M.C. (ex LNV 13)).	50

4.2.1.2.-	Análisis de Huecos.	52
4.2.1.2.1.-	Huecos de Aire en la Mezcla (Va).	52
4.2.1.2.2.-	Vacío del Agregado Mineral (V.A.M).	53
4.2.1.3.-	Huecos Llenos con Asfalto (V11).	54
4.2.1.4.-	Determinación del Contenido Óptimo de asfalto.	55
4.2.1.5.-	Mezcla de Trabajo.	56
4.2.1.6.-	Gráficos Parámetros Marshall.	57
4.2.2.-	Parámetros Marshall (Asfalto Modificado con Polímero).	59
4.2.2.1.-	Calculo de la Densidad (8.302.38 del M.C. (ex LNV 13)).	59
4.2.2.2.-	Análisis de Huecos.	60
4.2.2.2.1.-	Huecos de Aire en la Mezcla (Va).	60
4.2.2.2.2.-	Vacío del Agregado Mineral (V.A.M.).	61
4.2.2.3.-	Huecos Llenos con Asfalto (V11).	62
4.2.2.4.-	Determinación del Contenido Óptimo de asfalto.	63
4.2.2.5.-	Mezcla de Trabajo.	64
4.2.2.6.-	Gráficos Parámetros Marshall.	65
4.2.3.-	Gráficos Parámetros Marshall Asfalto convencional v/s Asfalto Modificado con Polímero.	67
4.3.-	Ensaye de Compresión.	69
4.3.1.-	Asfalto Convencional.	69
4.3.1.1.-	Gráfico Resistencia de Compresión con asfalto Convencional	70
4.3.2.-	Asfalto Modificado con Polímero.	70
4.3.2.1.-	Gráfico Resistencia de Compresión con Asfalto Modificado	71
4.3.3.-	Gráficos Resistencia de Compresión Asfalto convencional v/s Asfalto Modificado con Polímero.	71

CAPITULO V:	72
Otros Ensayes.	72
5.1.- Hveem.	72
5.2.- Hubbard – Field.	75
CONCLUSIONES	78
BIBLIOGRAFIA	80

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se ejecuta un análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero.

Se realiza un estudio de dosificación de concreto asfáltico convencional en caliente y un concreto asfáltico modificado con polímero en caliente, ambos con un tamaño máximo de 20 mm. (3/4") de los áridos para tránsito pesado.

Se describen los procesos de identificación de las muestras, granulometrías, constantes físicas e hídricas, dosificación de los áridos en peso, características de la mezcla, parámetros Marshall y se confecciona la mezcla de trabajo.

También se expone el asfalto, los polímeros, los asfaltos modificados con polímero y las capas asfálticas estructurales.

SUMMARY

In the present work of qualifications there is executed an analysis of asphalt pavement modified with polymer.

A study of dosing is realized of concretely asphalt conventional in warmly and the concrete asphalt modified one with polymer in warms, both with a maximum size of 20 mm. (3/4") of the arid ones for heavy traffic.

There are described the processes of identification of the samples, granulometries, physical and water constants, dosing of the arid ones in weight, characteristics of the mixture, parameters Marshall and the mixture of work is made.

Also there are exposed the asphalt, the polymers, the asphalts modified with polymer and the asphalt structural caps.

INTRODUCCIÓN

Las necesidades y exigencias de las ciudades modernas, han procurado que las técnicas actuales en la construcción de caminos cumplan con las demandas de los usuarios, hoy en día los productos asfálticos han tenido un gran desarrollo y se cuenta con nuevas emulsiones asfálticas, producto del desarrollo obtenido de la realización de pruebas diversas en los distintos materiales que conforman un asfalto.

Las características de estas nuevas emulsiones permiten el empleo de casi todos los tipos de materiales pétreos, cualquiera que sea su composición química y su empleo para trabajar en condiciones atmosféricas anteriormente imposibles.

Ante la necesidad creciente de contar con productos que tengan un mejor comportamiento bajo la acción del tránsito vehicular y de los distintos factores ambientales, se han desarrollado procesos y fórmulas que permiten la fabricación de asfaltos de mayor durabilidad, mediante la adición de polímeros.

La utilización de polímeros en la preparación de mezclas asfálticas data desde hace más de medio siglo en los países con mayor avance tecnológico, desde entonces se ha mostrado el interés en conocer el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, a través de pruebas de laboratorio.

El empleo de asfaltos modificados con polímeros tiene un costo adicional sobre la mezcla asfáltica (según de hasta un 25%), pero a su vez reduce los costos de mantenimiento.

Está plenamente comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adherencia en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen de tránsito, la magnitud de las cargas y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes, por ejemplo, con los asfaltos convencionales no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado, especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura.

Con ciertas mezclas abiertas (alternativa generada por razones de confort y seguridad), con los ligantes convencionales no se alcanzaría una resistencia mecánica satisfactoria a causa de una insuficiente cohesión y adherencia, lo que unido a un bajo contenido de ligante de estas mezclas, podría conducir a una disminución en su durabilidad.

Ante las situaciones mencionadas, además de apelar a nuevas tecnologías constructivas y del resto de los materiales, una solución evidente fue modificar el asfalto, tal es el caso de el uso de polímeros, logrando de esta manera mejorar el comportamiento de los pavimentos con el consecuente beneficio al obtener periodos de diseño y de vida útil mayores que el de los pavimentos convencionales.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Realizar un análisis comparativo entre el asfalto convencional versus el asfalto modificado con polímeros, utilizando específicamente el ensaye Marshall. (Basado en el Manual de Carreteras Vol. 8)

Objetivos Específicos:

- Ensayar la estabilidad de los pavimentos, para determinar si su durabilidad en el tiempo es mayor, bajo condiciones normales de uso.
- Ensayar la fluidez del pavimento para determinar si es menor la de los asfalto modificado con polímero.
- Realización de los ensayos de compresión a probetas con asfalto convencional y con polímero.

CAPITULO I

GENERALIDADES

El uso moderno del asfalto para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo pasado, y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos, hoy día, los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastantes sofisticados. Este capítulo trata sobre el asfalto, desde sus antecedentes históricos hasta su composición, propiedades, características, etc.

1.1.- Historia del Asfalto.

El asfalto, es sin lugar a dudas, uno de los materiales mas antiguos utilizados por el hombre. La palabra asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiría, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 A.C. en esta zona se encuentra en efecto la palabra “Sphalto” que significa “lo que hace caer”. Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó a latín y, más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt). Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado.

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C. excavaciones efectuadas en Tell Asmer, a 80 km. al noroeste de Bagdad, permitieron constatar que los Sumerios habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción, dicho mastic, compuesto por betún, finos minerales y paja, se utilizaba en la pega de ladrillos, en la realización de pavimentos interiores y como revestimiento impermeable. Los egipcios le habían encontrado otra aplicación al betún, como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, practica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 A.C. Los árabes desarrollaron un uso medicinal al asfalto, el cual se extendió hasta nuestra época.

El betún natural fue descubierto a mediados del siglo XVI, en la isla de Trinidad, por Cristóbal Colón, un siglo más tarde, Sir Walter Raleigh quedó asombrado ante este lago de betún y tomó posesión de él para la Corona Británica. Mientras tanto, en 1712, el griego Eirini D'Eyrinis hizo otro descubrimiento: el yacimiento de asfalto de Val de Travers en Suiza y luego el yacimiento de Seyssel en el Valle de Ródano, a partir de estos yacimientos se elaboró el "mastic de asfalto", aplicado a revestimientos de caminos y senderos. Sin embargo, el primer antecedente en el cual se usó un tipo de asfalto fue en Francia en 1802. En 1824, la firma Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines de asfalto, que en 1837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los Campos Elíseos en París. En 1852, la construcción de la carretera Paris – Perpiñan utilizó el asfalto Val Travers, significando el comienzo de una nueva forma de construcción vial. En 1869, se introduce el procedimiento en Londres (con asfalto de Val de Travers), y en 1870 en Estados Unidos con similar ligante. Desde esta época, el "asfalto" se implantó sólidamente en las vías urbanas y propició su uso vial. La construcción del primer pavimento, tipo Sheet Asphalt, ocurre en 1876 en Washington D.C., con asfalto natural importado. En 1900, aparece la primera mezcla en caliente, utilizada en la rue du Louvre y en la Avenue Victoria en París, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la isla de Trinidad. A partir del año 1902, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo en los Estados Unidos, que por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento.

1.2.- ¿Qué es un asfalto?

El asfalto es un material bituminoso (figura 1.1. Productos Bituminosos) de color negro o café oscuro, 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 los naturales.

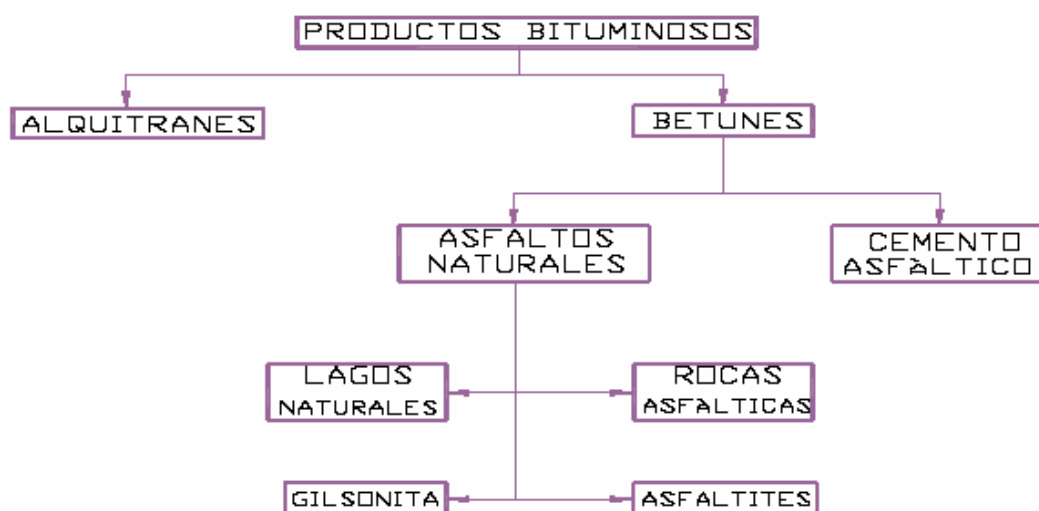


Fig. 1.1. Productos Bituminosos (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto).

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.

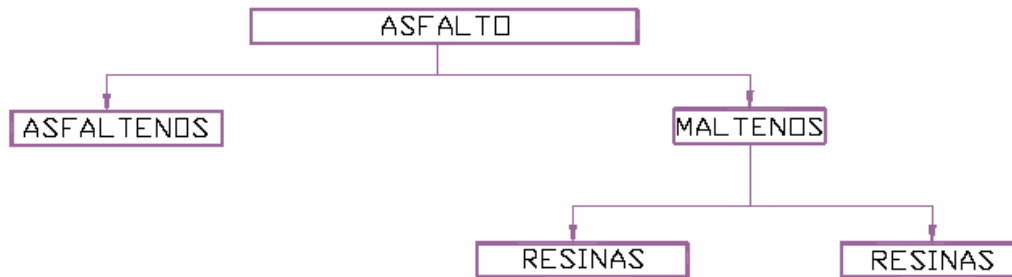


Fig. 1.2. El Asfalto (Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto).

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:

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

El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, por cuanto precipita a temperaturas bajas, formando una segunda fase discontinua, lo que da como resultado propiedades indeseables, tal como la pérdida de ductilidad, con los crudos asfálticos esto no sucede, dada su composición.

El petróleo crudo extraído de los pozos, es sometido a un proceso de destilación (figura 1.3. 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 contiene betún, el cual es un hidrocarburo soluble en bisulfuro de carbono. El alquitrán obtenido de la destilación

destruccion de un carbon graso, tambien contiene betun, por lo tanto tambien es un material bituminoso pero no debe confundirse con el asfalto, ya que sus propiedades difieren considerablemente.

El asfalto de petrleo moderno, tiene las mismas caracteristicas de durabilidad que el asfalto natural, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condicion uniforme, libre de materias organicas y minerales extraños.

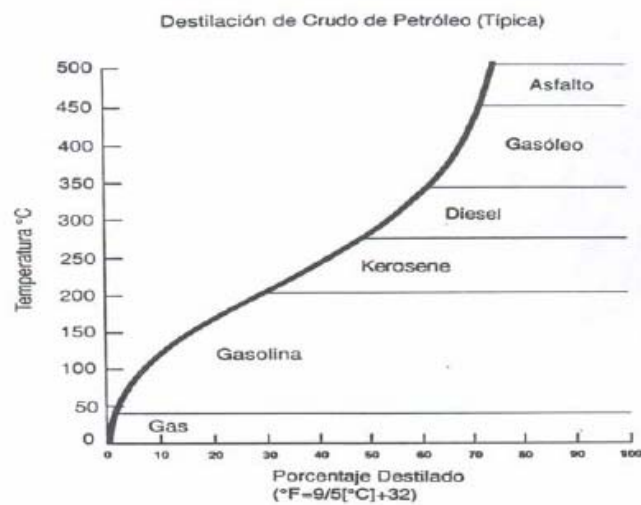


Fig. 1.3. Productos y Temperaturas típicas de destilación (Instituto del Asfalto. Manual del asfalto).

1.3.- Obtención del asfalto en refineras.

Los asfaltos mas usados en Chile son los que provienen de la destilación del petrleo. Según el origen del petrleo, la composición de la base se divide en:

- Base asfáltica.
- Base Intermedia.
- Base Parafínica.

Los asfaltos para caminos provienen de los dos primeros tipos.

El crudo de petrleo es una mezcla de distintos hidrocarburos que incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy

complejos, los componentes del asfalto. Para obtener este debe separarse entonces las distintas fracciones del crudo de petróleo por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo:

1.3.1.- Destilación Primaria.

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

1.3.2.- 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 fraccionada, lográndose así que las fracciones pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica. El producto del fondo de la columna, es un residuo asfáltico más o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío. De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la Columna de destilación, se obtendrán distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos.

1.3.3.- Desasfaltización con Propano o Butano.

El residuo del vacío obtenido, 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 que da un residuo semisólido llamado “bitumen”.

En la figura 1.4 se muestra en forma esquemática el proceso de refinación del petróleo:

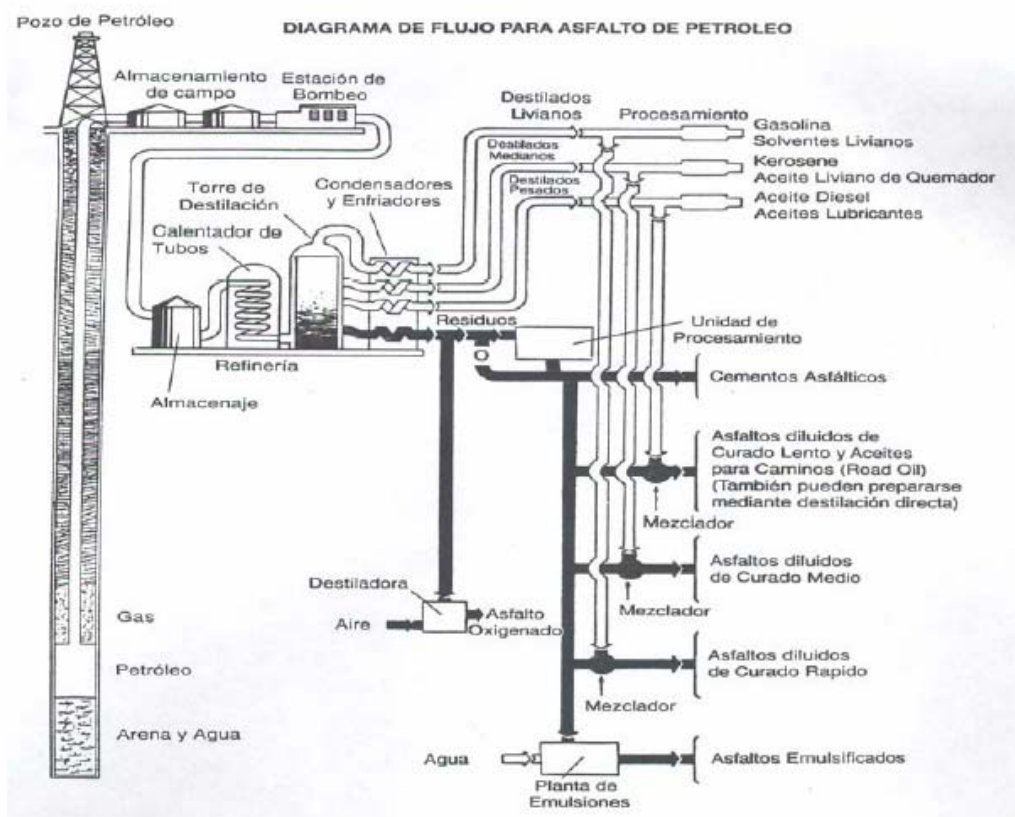


Fig. 1.4. Proceso de refinación del petróleo (Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto).

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 Pfeiffer y Saal en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos.

Existen varias clasificaciones para los grupos de constituyentes que componen el asfalto.

Una de las más usadas es la que separa el asfalto en:

- **Asfáltenos:** Son compuestos de alto peso molecular, principalmente de naturaleza aromática con pocas ramificaciones, se encuentran en sus cadenas de cantidad apreciables elementos como oxígeno, azufre y nitrógeno. Los asfáltenos le dan la característica de dureza al asfalto y se encuentran disueltos en los maltenos.
- **Maltenos:**
 - a) **Resinas:** Son moléculas de menor peso molecular, que tienen un mayor número de ramificaciones en las cadenas. También se observa la presencia de azufre y nitrógeno en sus cadenas, pero en menor frecuencia.
 - b) **Aceites:** Moléculas de peso molecular mucho menor, sus cadenas son menos ramificadas y con pocos anillos.

Podemos decir que los maltenos están ligados con las propiedades elásticas de los asfaltos.

Observamos que al pasar de los asfáltenos a los aceites, existe una disminución gradual de componentes aromáticos y un aumento en el carácter parafínico.

En forma general, la presencia de parafina influye en las propiedades reológicas del asfalto.

La estructura cristalina de la parafina sólida ocasiona un endurecimiento mayor en el asfalto; a temperaturas más elevadas la parafina se licua, lo que ocasiona una variación sensible en las viscosidades del asfalto.

La parafina disminuye la adhesividad de los asfaltos en los agregados y una elevada cantidad de ella, puede provocar un envejecimiento prematuro del ligante, influyendo sobre la duración y tiempo de vida útil del pavimento.

1.5.- Características del Asfalto.

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

- Consistencia: Se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. A altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definirla.

- Durabilidad: Capacidad para mantener sus propiedades con el paso del tiempo y la acción de agentes envejecedores.

- Susceptibilidad Térmica: Variación de sus propiedades con la temperatura.

- Pureza: Definición de su composición química y el contenido de impurezas que posee.

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

1.6.- Tipos de Asfalto.

La mayor parte de los asfaltos producidos son utilizados en trabajos de pavimentación, destinándose una producción menor para aplicaciones industriales, como impermeabilizante, aislantes, etc.

De acuerdo a su aplicación, los asfaltos podemos clasificarlos en dos grupos:

- a) Asfaltos para pavimento.

- a.1) Cemento Asfáltico.

- a.2) Asfaltos cortados.

- a.3) Emulsiones asfálticas.

b) Asfaltos Industriales.

b.1) asfaltos oxidados.

a.1) Cemento Asfáltico: Los cementos asfálticos son preparados especialmente para el uso en la construcción de pavimentos asfálticos. Es un material para su aplicación en trabajos de pavimentación, pues aparte de sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis.

a.2) Asfaltos cortados: los asfaltos cortados, también conocidos como asfaltos diluidos o cut-baks, resultan de la ductilidad del cemento asfáltico con destilados del petróleo.

Los diluyentes utilizados funcionan como vehículos, resultando productos menos viscosos que pueden ser aplicados con temperaturas mas bajas.

De acuerdo con el tiempo de curado determinado por la naturaleza del diluyente utilizado, los asfaltos cortados se clasifican en:

- RC – Asfaltos cortados de curado rápido.
- MC – asfaltos cortados de curado medio.
- SC – asfaltos cortados de curado lento.

Sigla normalmente seguida de un número que indica su grado de viscosidad.

a.3) Emulsiones asfálticas: son dispersiones de cemento asfáltico en fase acuosa, con estabilidad variable. El tiempo de quiebre y de viscosidad de las emulsionen dependen, entre otros factores, de la cantidad y calidad de los agentes emulsificantes.

La cantidad de emulsificantes y aditivos químicos utilizados varia generalmente de 0.2% a 5% y la cantidad de asfalto es del orden del 95%.

El color de las emulsiones asfálticas antes del quiebre es marrón y después del quiebre negro, constituyendo esta característica un elemento auxiliar para la inspección visual y constatación rápida de la buena condición del producto. Las partículas de asfalto dispersas en la emulsión son visibles al microscopio variando de su tamaño de 0.1 a 10 micrones.

Las emulsiones asfálticas se calcifican según el tipo de carga de la partícula y tiempo de quiebre.

En cuanto a la carga de partícula, pueden ser:

- Catiónicas.
- Aniónicas.

Y en cuanto al tipo de quiebre:

- Quiebre rápido.
- Quiebre medio.
- Quiebre lento.

b.1) asfaltos oxidados: los asfaltos oxidados o soplados, son asfaltos calentados y sometidos a la acción de una corriente de aire con el objeto de modificar sus características normales, a fin de adaptarlos para aplicaciones especiales.

Los asfaltos oxidados son utilizados generalmente para fines industriales como impermeabilizantes, película protectora, etc. El proceso de oxidación produce en el asfalto las siguientes modificaciones físicas principales:

- aumento de peso específico y consistencia.
- disminución de ductilidad.
- disminución de susceptibilidad térmica.

En cuanto a la composición química elemental del asfalto, los procesos de oxidación producen aumento en contenido de carbono y una correspondiente disminución de hidrogeno.

1.7.- Función del asfalto en los Pavimentos.

Entre muchas otras, dos son las funciones más importantes ejercidas por el asfalto en un pavimento.

- Aglomerante.
- Impermeabilizante.

Como aglomerante proporciona una íntima ligazón entre los agregados, capaz de resistir la acción mecánica producidas por las cargas de los vehículos.

Como impermeabilizante garantiza al pavimento una acción eficaz contra la penetración del agua proveniente, tanto de las precipitaciones como del subsuelo por acción capilar.

Ningún otro material garantiza mejor que el asfalto una ejecución económica y simultánea de estas funciones, al mismo tiempo que proporciona al pavimento características de flexibilidad que permite su acomodo sin fisuramiento, antes eventuales consolidación de las capas subyacentes,

Naturalmente, para que el asfalto desempeñe satisfactoriamente estas funciones que le son inherentes, es necesario que sea de buena calidad, y por sobre todo, que en la ejecución del pavimento se respeten todas las especificaciones establecidas en el diseño.

1.8.- Restricciones al Empleo.

En los tratamientos superficiales existen restricciones en cuanto al empleo de los cementos asfálticos:

- No deben ser calentados sobre 160 °C. siendo la temperatura ideal obtenida por la relación temperatura - viscosidad
- No se debe aplicar con tiempo amenazante de lluvia, temperatura ambiente inferior a 10 °C. y en superficies húmedas.
- Debe evitarse el recalentamiento del producto y calentamientos locales.

1.9.- Transporte y Almacenamiento.

El transporte de cemento asfáltico puede efectuarse en tambores o a granel.

En el caso de tambores su entrega esta limitada a obras de pequeña envergadura.

El transporte a granel puede efectuarse en camiones o en vagones ferroviarios; el más común es en camiones.

Tanto el transporte como el almacenamiento a granel, requieren calentamiento, existiendo los siguientes procesos:

- Serpentes calentados con vapor de agua.
- Serpentes calentados por circulación de aceite.
- Serpentes calentados por gases de combustión.

El calentamiento a temperaturas elevadas por un tiempo prolongado, altera sensiblemente la constitución del asfalto, modificando sus propiedades. Se recomienda mantener los estanques de almacenamiento a temperaturas no superiores a 160 °C.

El calentamiento nunca debe efectuarse a través de llama directa debiendo, usarse preferentemente, calentamiento a través de serpentes al interior de los estanques. En la operación de carga y descarga de asfalto a granel, es necesario verificar si los estanques están suficientemente limpios, a fin de eliminar cualquier grado de contaminación.

CAPITULO II

ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO.

Haciendo un poco de historia, los asfaltos modificados se utilizaron primero en las emulsiones para impermeabilizantes y después se empezaron a utilizar en la pavimentación; en riegos como tratamientos superficiales en frío, y posteriormente se empezó a modificar el cemento asfáltico para utilizarse cuando se requería un asfalto de mejor calidad o mayor resistencia que la que ofrecía un cemento asfáltico normal.

2.1.- Definición de Polímero.

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.

Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados, se enlistan a continuación:

- Homopolímeros: que tienen una sola unidad estructural (monómero).
- Copolímeros: Tienen varias unidades estructurales distintas (EVA, SBS).
- Elastómeros: Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tiene deformaciones pseudo plásticas con poca elasticidad.

2.2.- ¿Qué es un asfalto modificado?

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se les añaden al

material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura.

Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.

2.3.- Principales modificadores utilizados en el Asfalto.

Desde hace bastante tiempo se emplea caucho como modificador, ya sea natural o sintético, con tasas no superior al 5 %.

Actualmente existen los polímeros sintéticos de formulación especial que resultan muy competitivos. Asfaltos modificados con estos polímeros han sido ensayados en pavimentos de varios países

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

- **POLÍMERO TIPO I:** Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastómeros radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno – Butadieno - Estireno (SBS) o Estireno - Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

- **POLÍMERO TIPO II:** Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastómeros lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.
- **POLÍMERO TIPO III:** Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etileno – Vinil - Acetato (EVA) o polietilenote alta o baja densidad, entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

La obtención de una buena mezcla de asfalto y polímero, dependerá de que el polímero adicionado tenga una estructura química que le permita una buena dispersión en el asfalto, de modo de lograr una estructura de malla, la cual a su vez dependerá del grado de productos aromáticos que contenga el asfalto.

El grado de modificación en la elasticidad dependerá del tipo de polímero empleado y su concentración.

Los nuevos procesos en los cuales el polímero se asocia con el asfalto a través de una reacción química, incrementan notablemente las propiedades reológicas del asfalto.

2.4.- ¿Por qué se modifican los asfaltos?

Está plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una gama amplia de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo en la actualidad los grandes volúmenes de tráfico sobre los criterios de diseño vehicular y el exceso de carga, así como el incremento en la presión de inflado de las llantas y condiciones climáticas, hacen que utilizar asfaltos convencionales en la construcción de carreteras actualmente no satisfagan sus expectativas tal como cumplir un determinado periodo de servicio, es decir, menor resistencia al envejecimiento, la poca durabilidad de un camino reflejándose en deformaciones y figuraciones dentro de una carpeta asfáltica, sin embargo estos problemas son causados además por la selección de materiales en los diseños, mal proceso de construcción, mantenimiento y por la baja calidad del ligante y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes.

Por ejemplo con asfaltos convencionales, aún con los grados más duros no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito, especialmente cuando se afrontan condiciones de temperatura alta. Además con asfaltos con mayor dureza se corre el riesgo de formaciones de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Una solución evidente fue mejorar las características de los asfaltos para mejorar su comportamiento en los pavimentos; ello dio origen a nuevos asfaltos que fueron denominados "Asfaltos Modificados".

2.5.- Modificación del Asfalto.

La modificación del asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías carreteras. Esta

técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes, de las mezclas que componen las capas o superficie de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.

2.6.- Estructura de los Asfaltos Modificados.

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella. Esta micro morfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad – temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas) permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas.

2.7.- Compatibilidad de los Polímeros.

Para que los asfaltos modificados con polímeros consigan las prestaciones óptimas, hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatibles con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje.

Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de ésta, el polímero sólo actúa como un filler (mineral como: cemento, cal, talco, sílice, etc.); y por debajo de ésta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.

Si un polímero se añade a dos diferentes asfaltos, las propiedades físicas de los productos finales, pueden ser muy diferentes. Para mayor efectividad, el polímero debe crear una red continua de trabajo en el asfalto; para que esto ocurra, la química del polímero y del asfalto necesita ser compatible.

Los polímeros compatibles producen rápidamente un asfalto estable, usando técnicas convencionales de preparación. Estos sistemas convencionales de preparación de asfaltos modificados con polímeros son grandes recipientes de mezclado con paletas agitadoras a velocidades lentas, o recipientes especiales que favorecen la recirculación con agitadores mecánicos de corte de gran velocidad. El polímero puede venir en polvo, en forma de pequeñas bolitas o en grandes panes. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

En las microfotografías mostradas en la figura 2.1 nos muestran polímeros tipo SB o SBS en diferentes asfaltos (lo blanco es polímero y lo negro es asfalto). Las dos primeras presentan una red continua de polímero, teniendo una estructura estable que no se separa, tomando ventaja de las propiedades elásticas del polímero. Las dos siguientes no están en red, separadas durante el almacenaje, y por tanto, no tendrán el mismo incremento benéfico sobre las distintas propiedades.

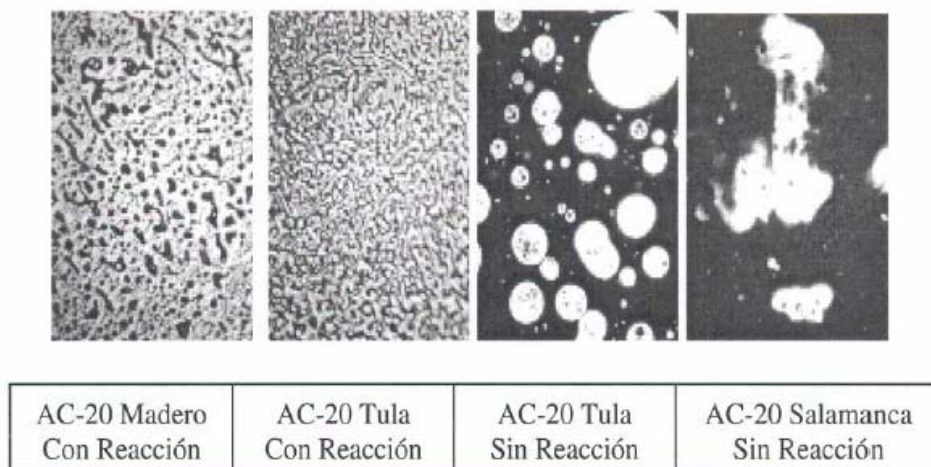


Fig. 2.1. Microfotografías (Emulsiones Asfálticas, Gustavo Rivera E).

Algunos productores de asfalto polimerizado utilizan procesos especiales para lograr compatibilidad entre el polímero y el asfalto. Cuando la tecnología es apropiada, las propiedades del ligante pueden reducir el efecto de las roderas, el desprendimiento de pétreos el agrietamiento térmico o fluencia de la mezcla, así como el incremento en la vida útil del pavimento, debido a una mayor estabilidad y resistencia a la fatiga.

2.8.- Técnicas para modificar Asfaltos.

Cuando se añaden polímeros al asfalto, las propiedades del asfalto modificado dependen de los siguientes parámetros:

- Tipo de polímero a emplearse ya sean elastómeros o plástomeros.
- Su forma física.
- Naturaleza y grado de asfalto.
- Tipo de equipo.
- Tiempo y temperatura durante el mezclado.
- La compatibilidad Asfalto - Polímero.

El proceso apropiado de modificación es variable de acuerdo al tipo de polímero, polímeros del tipo SBS requieren etapas de molienda y otros como el tipo EVA requieren solamente proceso de agitación.

Se mencionan de manera general las etapas importantes del proceso de modificación.

Para tipo I. SBS:

Etapas 1. Evaluar el asfalto base.

Etapas 2. Incrementar la temperatura del asfalto.

Etapas 3. Proceso de molienda y/o homogeneización asfalto - polímero. Se requiere de un molido de alto corte.

Etapas 4. Controlar la calidad a través de microscopía óptica.

Etapas 5. Finalización de la reacción. Control de calidad realizando corrida de pruebas físicas para asfaltos modificados después de 24 horas de reacción.

Las temperaturas de mezclado son de 180° C a 190° C. Y el tiempo de mezclado varía dependiendo de la dispersión del polímero.

Para tipo II. Látex SBR.

La operación de modificación se lleva a cabo a una temperatura de 160° C a 170° C. La adición del látex se realiza mediante una bomba de diafragma que puede ser adicionada mediante aire o motor eléctrico. El tiempo de agitación depende del equipo empleado. Los tiempos normales para todo el proceso del látex y mezclado oscilan entre 1.5 y 2 horas.

Para tipo III. EVA.

En esta no se requiere un molino, solamente es con agitación y temperatura, en un tiempo corto el polímero se funde y se incorpora al asfalto. Por lo regular son 2

horas a 180° C, el control de calidad se observa mediante la prueba visual para polímeros del tipo III.

2.9.- Cambio de Propiedades en el ligante asfáltico.

El objetivo perseguido con las adiciones de polímero en el asfalto, es cambiar las propiedades físicas y reológicas del ligante, buscando:

- Aumenta la viscosidad, dependiendo de la cantidad y tipo de polímero.
- Disminuye la penetración.
- Aumenta el punto de reblandecimiento del asfalto entre 8 y 12 grados.
- Aumenta el punto de inflamación.
- Disminuye la susceptibilidad a las variaciones de temperatura.
- Sube entre uno y dos grados la clasificación PG (Penetración Grade ó Grado de Penetración) del asfalto.
- Eleva la recuperación elástica del asfalto hasta arriba del 30%.
- Eleva la resiliencia por encima de 25.
- Amplio rango de temperatura en el manejo y almacenamiento.
- Mayor intervalo de plasticidad.
- Mayor cohesión.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

Las propiedades que estos imparten dependen de los siguientes factores:

- Tipo y composición del polímero incorporado.
- Características y estructura coloidal del asfalto base.
- Proporción relativa del asfalto base.

2.10.- Proceso Constructivo del Asfalto Modificado.

El proceso de elaboración del asfalto modificado se realiza con los siguientes pasos:

- Se transfiere asfalto al tanque de modificado.
- Una vez terminado el proceso de transferencia de asfalto, se inicia la agitación.
- Se somete el asfalto a calentamiento a una temperatura controlada de 180° C a 190° C.
- Se dosifica el polímero dependiendo del volumen del tanque, para preparar un concentrado no superior al 5% de polímero.
- El polímero se agrega al molino a una velocidad de 20 a 25 kg./minuto.
- El asfalto debe mantenerse en un rango de temperatura de 180° C a 190° C. Al mismo tiempo es agitado por aproximadamente 5 horas en condiciones de agitación constante y en rango de temperatura antes mencionado.
- Después de que el periodo de dispersión ha transcurrido, se debe observar que el polímero esté incorporado completamente al asfalto.
- El asfalto se debe controlar a una temperatura de 180° C a 190° C por una hora, antes de pasar al proceso de emulsificación.

CAPITULO III

CAPAS ASFÁLTICAS ESTRUCTURALES.

En una mezcla asfáltica en caliente la proporción de cemento asfáltico es exacta. Las cantidades relativas de asfalto y de agregado determinan las propiedades físicas de la mezcla.

Existen 2 métodos de diseño para mezclas en caliente; ellos son:

- Método Marshall: utilizado en Chile
- Método Hveem

En Chile, el método oficial de diseño de mezclas en caliente es el método Marshall. Las mezclas en caliente son preparadas en plantas diseñadas especialmente para este efecto.

Una planta asfáltica está relativamente cerca del lugar donde se colocará la mezcla; esto, debido al enfriamiento sufrido por la mezcla en el traslado desde la planta de producción hasta el lugar de colocación.

La secuencia constructiva de una mezcla en caliente es:

- Producción en planta.
- Transporte a la faena.
- Extendido de la mezcla.
- Compactación

Según las aplicaciones que tendrá el pavimento asfáltico serán las características que poseerá la mezcla:

- Carpeta de rodado: mezcla generalmente cerrada y diseñada para resistir abrasión y desintegración por efectos ambientales.
- Capa intermedia o Binder: mezcla típicamente abierta y graduada densa o gruesa.
- Base asfáltica: mezcla generalmente abierta colocada sobre la base granular.

La capa superficial de asfalto que envuelve al árido, se envejece por efecto del oxígeno, rayos U.V., temperatura y el tiempo.

3.1.- Tipos de clasificación de una mezcla asfáltica.

De acuerdo a sus huecos:

- Mezcla cerrada: huecos menores al 5 %.
- Mezcla Abierta: Huecos mayores al 5 %.

De acuerdo a su granulometría:

	% que pasa en la malla N° 8
- Graduación densa	35 - 50
- Graduación gruesa	20 - 35
- Graduación abierta	5 - 20
- Graduación fina	pasa mas del 50 %

3.2.- Características y Comportamiento de las Mezclas.

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

- **Densidad de la mezcla:** La densidad de la mezcla compactada esta definida como la masa de un volumen específico de la mezcla. La densidad es una característica muy importante en el control de calidad, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento. A veces un exceso de densidad puede producir efectos negativos (reventones).

La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del

pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio.

El control final de densidad de un pavimento se denomina porcentaje de compactación y se determina de la siguiente forma:

$$\% \text{ de compactación} = \frac{\text{Densidad terreno}}{\text{Densidad Laboratorio}} \times 100$$

Para cemento asfáltico el % de compactación exigido tiene que ser mayor al 98 %.

- **Vacíos de aire (huecos (Va)):** Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsa de aire, que están presente en los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional por efecto del tráfico y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante esa compactación adicional.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de huecos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla.

Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y aire y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de huecos puede causar exudación del asfalto, condición donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

Siempre debe haber aire al interior de la muestra, ya que esto permite la flexibilidad de los pavimentos asfálticos. Si las partículas y el asfalto no encuentran espacios vacíos donde acomodarse se produce la exudación.

- **Vacíos en el agregado mineral (VAM):** Los vacíos en el agregado mineral son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El V.A.M. representa el espacio disponible para acomodar el “volumen efectivo de asfalto” y el volumen de vacíos en la mezcla.

En la figura 3.1 se muestra en forma esquemática los vacíos en el agregado mineral

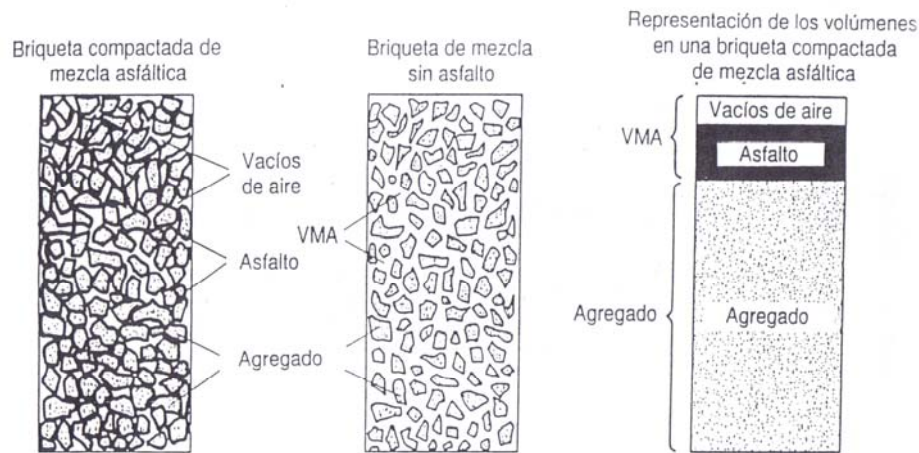


Fig. 3.1. Ilustración del V.A.M. en una probeta de mezcla compactada

(Modulo Asfalto, Héctor Rioja V.)

- **Contenido de asfalto:** El contenido de asfalto de una mezcla esta determinado por propiedades predeterminadas y establecidas mediante criterios tanto técnicos como económicos.

El contenido de asfalto efectivo es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de agregado.

El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

3.3.- Parámetro de Diseño de Mezclas.

Las principales propiedades que contribuyen a la calidad de una mezcla en caliente son:

- Estabilidad: Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Depende principalmente de la fricción interna y de la cohesión.
- Durabilidad: es la capacidad de un pavimento de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima.
- Flexibilidad: capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse.
- Resistencia a la fatiga: capacidad de un pavimento para resistir los esfuerzos provocados por el tránsito en repetidas pasadas.
- Resistencia al deslizamiento: Calidad de un pavimento especialmente mojado para ofrecer resistencia al patinaje.
- Impermeabilidad: resistencia del pavimento a ser penetrado por el aire y el agua.
- Trabajabilidad: facilidad de una mezcla a colocarse y compactarse.

CAPITULO IV

4.1.- PRUEBAS DE EXPERIMENTACION.

Para este estudio se utilizan 3 tipos de materiales: gravilla 3/4", gravilla 3/8" y Polvo Roca, todos estos obtenidos de la planta productora de mezclas asfálticas BITUMIX. Estos agregados son extraídos de un pozo en paillaco de propiedad de Edgar Hadida.



Fig. 4.1. Gravilla 3/4



Fig. 4.2. Gravilla 3/8



Fig. 4.3. Polvo Roca

En el laboratorio de ensaye de materiales de vialidad se aplicaron los siguientes métodos:

Características de los Agregados de la Muestra

Identificación

Muestra N°	1	2	3
Material	Gravilla 3/4	Gravilla 3/8	Polvo Roca

4.1.1.- Granulometrías.

El termino granulometría corresponde a la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un pétreo.

Para llevar a cabo este análisis, se utiliza el método descrito en el LNV 65, el cual es una adaptación de la norma NCh 165 of. 77.

Los materiales se secan y se separan por tamizado en seco en las fracciones deseadas. En las siguientes tablas se muestra la granulometría obtenida para estos materiales.

Tabla 4.1. Gravilla 3/4

Tamiz	Peso Retenido	%	% Pasa
20 (3/4")	0	0	100
12.5 (1/2")	3344	38.7	61.3
10 (3/8")	4314	49.9	11.4
5 (Nº 4)	663	7.7	3.7
2.5 (Nº 8)	33	0.4	3.3
Retenido	128	1.5	1.8

Tabla 4.2. Gravilla 3/8

Tamiz	Peso Retenido	%	% Pasa
12.5 (1/2")	0	0	100
10 (3/8")	388	7.2	92.8
5 (Nº 4)	3773	69.5	23.3
2.5 (Nº 8)	672	12.4	1.9
Retenido	406	7.5	3.4

Tabla 4.3. Polvo Roca

Tamiz	Peso Retenido	%	% Pasa
10 (3/8")	0	0	100
5 (Nº 4)	209	10.8	89.2
2.5 (Nº 8)	577	29.7	59.5
1.25 (16)	338	17.4	42.1
0.630 (30)	223	11.5	30.6
0.315 (50)	192	9.9	20.7
0.160 (100)	122	6.3	14.4
0.080 (200)	66	3.4	11
Retenido	15	0.8	10.2

4.1.2.- CONSTANTES FISICAS E HIDRICAS.

4.1.2.1.- Método para determinar la densidad aparente.

Este método se aplica a los materiales pétreos provenientes del tamizado, debidamente homogeneizados.

Se debe secar la muestra a ensayar asegurándose de la incorporación de todas las partículas mas finas que la compone, Una vez realizado esto, es necesario realizar las mediciones.

En las siguientes tablas se presentan las densidades obtenidas de los materiales pétreos:

Tabla 4.4. Densidad Suelta Gravilla 3/4

Muestra	Masa (gr.)	Densidad (Kg/ m ³)
Muestra 1	7204	1.4408
Muestra 2	7200	1.44
Muestra 3	7202	1.4404
Muestra 4	7203	1.4406
Muestra 5	7201	1.4402
Densidad Aparente kg/m ³	5000	1.4404

Tabla 4.5. Densidad Suelta Gravilla 3/8

Muestra	Masa (gr.)	Densidad (Kg/ m ³)
Muestra 1	4833	1.4721
Muestra 2	4836	1.4730
Muestra 3	4834	1.4724
Muestra 4	4835	1.4727
Muestra 5	4834	1.4724
Densidad Aparente kg/m ³	3283	1.4725

Tabla 4.6. Densidad Suelta Polvo Roca

Muestra	Masa (gr.)	Densidad (Kg/ m ³)
Muestra 1	3321	1.6588
Muestra 2	3318	1.6573
Muestra 3	3323	1.6598
Muestra 4	3325	1.6608
Muestra 5	3320	1.6583
Densidad Aparente kg/m ³	2002	1.659

4.1.2.2.- Método para determinar la densidad real, densidad neta y la absorción de agua en pétreos finos.

Este método se aplica a materiales pétreos que pasan por el tamiz de 2.5 mm. (ASTM N° 8), cuya densidad neta esta entre 2000 y 3000 kg/m³.

Se debe cubrir el pétreo en su totalidad con el mínimo de agua a temperatura ambiente, necesaria para asegurar su saturación en un periodo de 24 ± 4 h. Una vez realizado esto, es necesario realizar mediciones en distintas condiciones:

- M_{ss}: Indica la masa saturada superficialmente seca, esta se obtiene cuando al retirar el molde cónico, utilizado para este tipo de ensayo, el agregado caiga suavemente según su talud natural.
- M_m: Es la masa de la muestra en un matraz con agua hasta la marca de calibración. Es necesario eliminar la totalidad de las burbujas de aire que quedan en el agregado.
- M_s: Es la masa que se obtiene al secar la muestra. Una vez seca la muestra se debe enfriar a temperatura ambiente antes de realizar las mediciones.
- M_a: Masa del matraz con agua a temperatura ambiente hasta el punto de calibración.

En la siguiente tabla se presentan las densidades y absorción obtenida de los materiales pétreos:

Tabla 4.7. Densidades y absorción Polvo Roca

1	Peso Matraz + Agua, gr.	703
2	Peso sat. Sup. Seca, gr.	300
3	Peso seco, gr.	294
4	Peso Total Matraz, gr.	892
5	$1 + 3 - 4$, gr.	697
ρ_n	Neta = $(3:5) \times 1000$, Kg/m ³	422
6	$1 + 2 - 4$, gr.	111
ρ_{rs}	Real seca = $(3:6) \times 1000$, kg/m ³	2649
α	Absorción = $((2 - 3):3) \times 100$ (%)	2.04 %

4.1.2.3.- Método para determinar la densidad real, densidad neta y la absorción de agua en pétreos gruesos.

Este método se aplica a materiales pétreos retenidos en el tamiz de 2.5 mm. (ASTM N° 8), cuya densidad neta esta entre 2000 y 3000 kg/m³.

Es necesario lavar la muestra para remover el polvo superficial o cualquier materia extraña adherida a las partículas. Luego se sumerge el material pétreo en agua durante 24 ± 4 h., con el objetivo de llenar los poros. Pasado este tiempo se retira el material del agua y se realizan las siguientes mediciones:

- Msum: Indica la masa del pétreo sumergida, medida en un canastillo porta muestra.
- Msss: Indica la masa del pétreo saturado superficialmente seco, medido después de sacar la muestra del canastillo y secada superficialmente con un paño.

- Ms: Es la masa del pétreo seco. Se obtiene al secar la muestra. Una vez seca la muestra se debe enfriar a temperatura ambiente antes de realizar la medición.

En las siguientes tablas se presentan las densidades y absorción obtenidas de los materiales pétreos:

Tabla 4.8. Densidades y absorción Gravilla 3/4

1	Peso sat. Sup. Seca, gr.	2197
2	Peso en agua, gr.	1388
3	Peso seco, gr.	2165
4	3 – 2, gr.	777
ρ_n	Neta = (3:4) x1000, Kg/m ³	2786
5	1 – 2, gr.	809
ρ_{rs}	Real seca = (3:5) x1000, kg/m ³	2676
α	Absorción = ((1 – 3):3) x100 (%)	1.48 %

Tabla 4.9. Densidades y absorción Gravilla 3/8

1	Peso sat. Sup. Seca, gr.	1408
2	Peso en agua, gr.	890
3	Peso seco, gr.	1380
4	3 – 2, gr.	490
ρ_n	Neta = (3:4) x1000, Kg/m ³	2816
5	1 – 2, gr.	518
ρ_{rs}	Real seca = (3:5) x1000, kg/m ³	2664
α	Absorción = ((1 – 3):3) x100 (%)	2.03 %

Tabla 4.10. Densidades y absorción Polvo Roca

1	Peso sat. Sup. Seca, gr.	888
2	Peso en agua, gr.	560
3	Peso seco, gr.	865
4	3 – 2, gr.	305
ρ_n	Neta = (3:4) x1000, Kg/m ³	2836
5	1 – 2, gr.	328
ρ_{rs}	Real seca = (3:5) x1000, (kg/m ³)	2637
α	Absorción = ((1 – 3):3) x100 (%)	2.66 %

Tabla 4.11. Resumen de las Densidades y absorción Polvo Roca

Polvo – Roca	Grueso	Fino
ρ_{rs} (kg/m ³)	2637	2649
α (%)	2.66	2.04
Fracción Retenida (%)	40.5	
Fracción Pasa (%)	59.5	

$$\rho_{rs} = \left(\frac{\rho_{rs} \text{ Grueso} \times \text{Fracción Retenida} + \rho_{rs} \text{ Fino} \times \text{Fracción Pasa}}{100} \right)$$

$$\rho_{rs} = \left(\frac{2637 \times 40.5 + 2649 \times 59.5}{100} \right) = 2644 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\alpha = \left(\frac{\alpha \text{ Grueso} \times \text{Fracción Retenida} + \alpha \text{ Fino} \times \text{Fracción Pasa}}{100} \right)$$

$$\alpha = \left(\frac{2.66 \times 40.5 + 2.04 \times 59.5}{100} \right) = 2.29 \text{ (\%)}$$

4.1.2.4.- Cálculo de la Densidad Real Seca de la Mezcla de Agregados.

Cuando el agregado total consiste de fracciones separadas de agregado grueso, fino y filler, todos con distintas densidades reales, los cálculos posteriores se simplifican si se calcula la densidad real seca de la muestra de agregados:

$$\rho_{RS} = \frac{100}{\frac{P_1}{\rho_{rs1}} + \frac{P_2}{\rho_{rs2}} + \frac{P_3}{\rho_{rs3}}}$$

Donde:

ρ_{RS} : Densidad Real seca de la Mezcla de Agregados

P : Porcentaje en peso de los agregados

ρ_{rs} : Densidad real seca de los agregados

$$\rho_{RS} = \frac{100}{\frac{15}{2676} + \frac{30}{2664} + \frac{55}{2644}} = 2655 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

4.1.2.5.- Método para determinar la cubicidad de partículas.

Este método establece el procedimiento para determinar el contenido porcentual de partículas chancadas, rodadas y lajeadas de la fracción de un pétreo retenida en el tamiz de 5 mm.

Para realizar el ensayo, se toma una muestra representativa del material retenido en el tamiz de 5 mm. Luego se determina la masa de chancado, rodado y laja. Finalmente se calcula el porcentaje de cada una de estas fracciones presentes en la muestra.

En las siguientes tablas se presenta el porcentaje de cada una de las fracciones presentes en la muestra:

Tabla 4.12. Gravilla 3/4

Material	Masa (gr.)	%
Chancado	478	86.9
Rodadora	16	2.9
Lajas	56	10.2
Masa total de la muestra, gr.	550	

Tabla 4.13. Gravilla 3/8

Material	Masa (gr.)	%
Chancado, gr.	239	92.3
Rodadora, gr.	8	3.1
Lajas, gr.	12	4.6
Masa total de la muestra, gr.	259	

Tabla 4.14. Polvo Roca retenido en el tamiz N° 8

Material	Masa (gr.)	%
Chancado, gr.	93	93
Rodadora, gr.	8	7
Lajas, gr.	7	7
Masa total de la muestra, gr.	108	

4.1.2.6.- Desgaste de los Ángeles.

Muestras	Gravilla 3/4	Gravilla 3/8	Polvo Roca	Máximo
Desgaste de los Ángeles (%)	13.5	16.1	19.7	25

4.1.2.7.- Índice de Plasticidad.

Muestras	Gravilla 3/4	Gravilla 3/8	Polvo Roca
Índice de Plasticidad (%)	N.P.	N.P.	N.P.

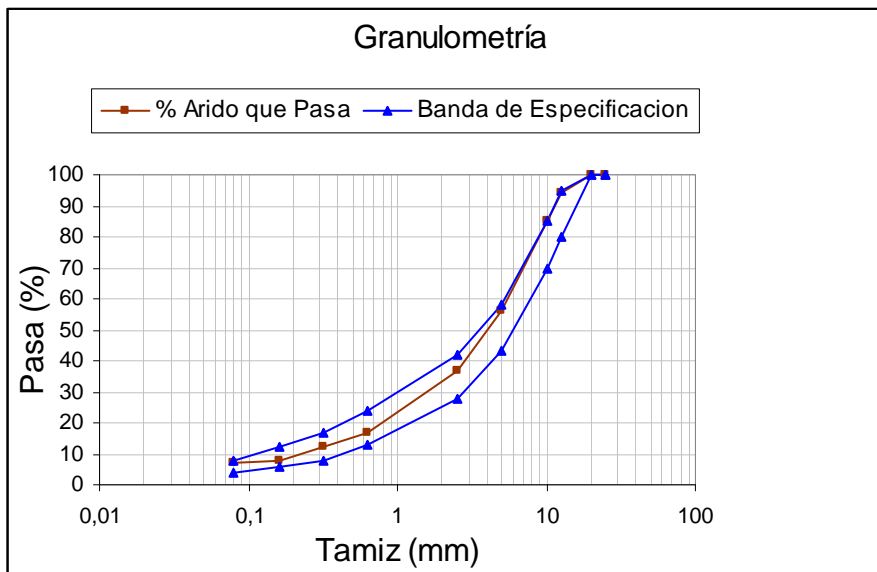
4.1.3.- Dosificación de Áridos en Peso.

De acuerdo a las características de los áridos, estos se mezclaron como sigue:

Material	%
Gravilla 3/4	15
Gravilla 3/8	30
Polvo Roca	55

4.1.4.- Características de la Mezcla.

Tamiz	Tamiz	Árido	Especificación
Pulgada	mm.	% Pasa	Banda IV-A-12
1	25	100	100
3/4	20	100	100
1/2	12.5	94	80 - 95
3/8	10	84	70 - 85
Nº 4	5	56	43 - 58
Nº 8	2.5	37	28 - 42
Nº 30	0.630	17	13 - 24
Nº 50	0.315	12	8 - 17
Nº 100	0.160	8	6 - 12
Nº 200	0.080	7	4 - 8



4.2.- Ensaye Marshall.

El ensaye marshall para mezclas asfálticas para pavimentación puede emplearse para proyecto en laboratorio y comprobación en obra de las mezclas que contienen betún asfáltico y áridos cuyo tamaño máximo no exceda 1". Las principales características del ensaye son el análisis densidad – huecos y los ensayes de estabilidad y fluencia sobre probetas de mezcla compactada.

Se preparan probetas de 2 ½" (6.35 cm.) de espesor y 4" (10 cm.) de diámetro, mediante procedimientos específicos de calentamiento, mezclado y compactación (8.302.40 del M.C.-V8 (ex LNV 24)). Se determina la densidad y huecos de la probeta compactada, que a continuación se calienta a 60 °C para la realización de los ensayes marshall de estabilidad y fluencia. La probeta se coloca entre unas mordazas especiales indicadas en la figura 5.1. y se carga imponiéndole una deformación de 5 cm./min. La carga máxima registrada durante el ensaye, en libras, se designa como estabilidad Marshall de la probeta. La deformación producida desde el principio de la aplicación de la carga hasta que ésta ha alcanzado su valor máximo es la fluencia de la probeta, que suele expresarse en centésimas de pulgada. Se prepara una serie de probetas con contenido de asfalto variables por

encima y por debajo del óptimo estimado, ensayándolas por el procedimiento que acabo de describir. Usualmente se preparan 3 probetas por cada contenido de asfalto.

Los datos obtenidos se emplean para establecer el contenido de asfalto óptimo de la mezcla y para determinar alguna de sus características físicas.

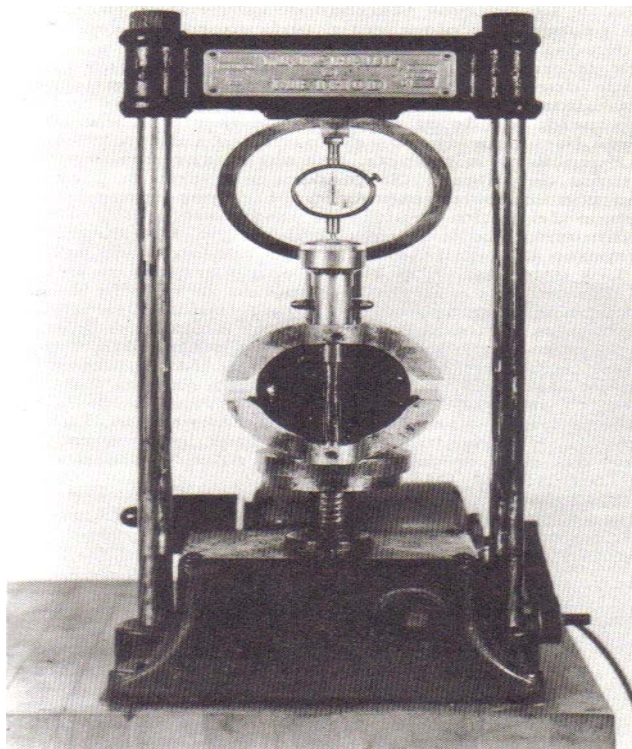


Fig. 4.1. Ensayo Marshall de estabilidad y fluencia. (Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto).

4.2.1.- Parámetros Marshall (Asfalto Convencional).

4.2.1.1.- Cálculo de la Densidad (8.302.38 del M.C. (ex LNV 13)).

En este ensayo existen 2 métodos diferentes, el método A “Probetas Cubiertas con Parafina” y el método B “Probetas con Superficie Saturada Seca”

Método B:

Se determina el porcentaje de agua absorbida con la siguiente expresión:

$$G = \frac{A}{B - C} \times 1000$$

Donde:

G : Densidad de la probeta.

A : Masa de la probeta seca (gr.).

B : Masa de la probeta saturada superficialmente seca (gr.).

C : Masa de la probeta sumergida (gr.).

$$G_1 = \frac{1150}{1150 - 658} \times 1000 = 2337 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$G_2 = \frac{1151}{1151 - 657} \times 1000 = 2330 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$G_3 = \frac{1150}{1150 - 655} \times 1000 = 2323 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$G = \frac{G_1 + G_2 + G_3}{3}$$

$$G = \frac{2337 + 2330 + 2323}{3} = 2330 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

En la tabla 4.15. se presentan las densidades obtenidas de cada una de las mezclas asfálticas.

4.2.1.2.- Análisis de Huecos.

En este análisis se debe calcular la cantidad de vacío en la mezcla compactada (V_a) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM), según se indica a continuación:

4.2.1.2.1.- Huecos de Aire en la Mezcla (V_a).

El porcentaje de huecos en la mezcla, se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$V_a = 100 \times \frac{D_{mm} - G}{D_{mm}}$$

Donde:

V_a : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla (kg/m^3).

G : Densidad de la mezcla compactada (kg/m^3) (ex LNV 13).

$$V_a = 100 \times \frac{2447 - 2330}{2447} = 4.8 (\%)$$

En la tabla 4.15. se presenta el porcentaje de huecos en la mezcla obtenidas de cada una de las mezclas asfálticas.

El término D_{mm} se calcula de la siguiente manera:

$$D_{mm} = \frac{A}{A + D - E} \times 1000$$

Donde:

D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla (kg/m^3).

A : Masa de la muestra seca en aire (gr.).

D : Masa del matraz con agua a 25° C. (gr.).

E : Masa del matraz con agua y la muestra a 25° C (gr.).

$$D_{mm} = \frac{2295}{2295 + 11805 - 13210} \times 997.1 = 2447 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

En la tabla 4.15. se presenta el D_{mm} obtenido de cada una de las mezclas asfálticas.

4.2.1.2.2.- Vacíos en el Agregado Mineral (V.A.M.).

El porcentaje de vacíos del agregado mineral (V.A.M.), se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

$$VAM = 100 - \frac{G}{\rho_{rs} (100 + Pb)} \times \frac{100}{100} \times 100$$

Donde:

VAM : Porcentaje de vacío en los agregados minerales (%).

G : Densidad de la mezcla compactada (kg/m³).

ρ_{rs} : Densidad real seca del agregado (kg/m³).

Pb : Porcentaje de asfalto referido al agregado (%).

La densidad real seca del agregado (ρ_{rs}), se calcula de la siguiente manera:

$$VAM = 100 - \frac{2330}{2655 (100 + 5.5)} \times \frac{100}{100} \times 100 = 16.8 \text{ (\%)}$$

En la tabla 4.15. se presenta el V.A.M. obtenido de cada una de las mezclas asfálticas.

4.2.1.3.- Huecos Llenos con Asfalto (V11).

Los Huecos llenos con asfalto se calculan de acuerdo a la fórmula:

$$V11 = 100 - \frac{Va}{V.A.M.} \times 100$$

Donde:

V11 : Porcentaje de huecos llenos de asfalto (%)

Va : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

V.A.M.: Porcentaje de vacío en los agregados minerales (%).

$$V11 = 100 - \frac{4.8}{16.8} \times 100 = 71 (\%)$$

En la tabla 4.15. se presenta el V11 obtenido de cada una de las mezclas asfálticas.

Tabla 4.15.

75 golpes por capa							Rangos
Bitumix	(% gr. Ag.)	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	
Densidad	(kg/m ³)	2295	2314	2330	2328	2327	
Dmm	(kg/m ³)	2481	2464	2447	2431	2415	
Huecos	(%)	7.5	6.1	4.8	4.1	3.6	4 – 6
V.A.M.	(%)	17.2	17.0	16.8	17.2	17.7	Min. 14
Huecos Llenos	(%)	56	64	71	76	80	
Fluencia	(0.01")	11.0	11.7	13.0	14.2	15.1	8 – 16
Estabilidad	(N)	10356	10970	11702	11155	10078	Min. 9000

4.2.1.4.- Determinación del Contenido Óptimo de asfalto.

Se determina el contenido óptimo de asfalto de la mezcla considerando la densidad, estabilidad y huecos en la mezcla, de dichos cálculos se determinan los porcentajes de asfalto (Pb) que entregan:

- Máxima estabilidad (Pb1).
- Máxima densidad (Pb2).
- Contenido de asfalto para un 5% de huecos (Pb3).

El contenido óptimo de asfalto se calcula como la medida aritmética de los tres valores obtenidos, es decir:

$$Pb \text{ optimo} = \frac{Pb1 + Pb2 + Pb3}{3}$$

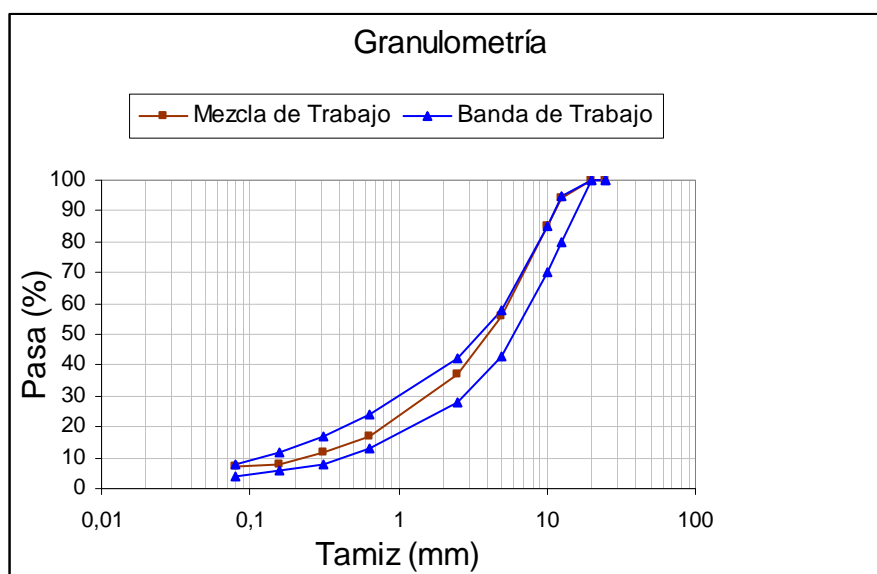
3

Finalmente se debe verificar que el contenido optimo de asfalto obtenido, con una tolerancia de $\pm 0,3$ puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla.

Procedencia	:	Bitumix
Temperatura de mezclado probetas	:	150° C \pm 3° C
Temperatura de compactación probetas	:	141° C \pm 3° C
Según L.N.V.-46	:	Optimo por estabilidad : 5.5 (%)
		Optimo por densidad : 5.6 (%)
		Optimo para 5 % huecos : 5.4 (%)
		Optimo a usar : 5.5 \pm 0.3 (%)

4.2.1.5.- Mezcla de Trabajo.

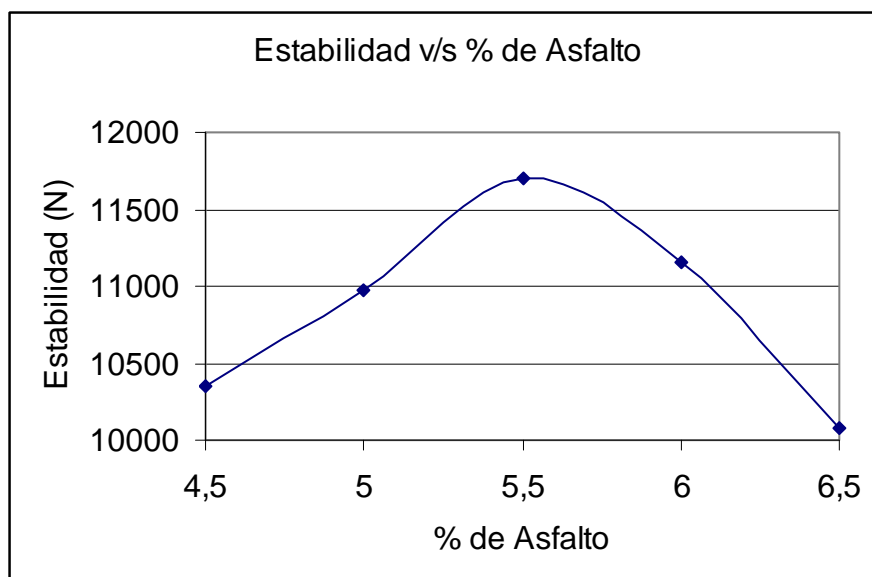
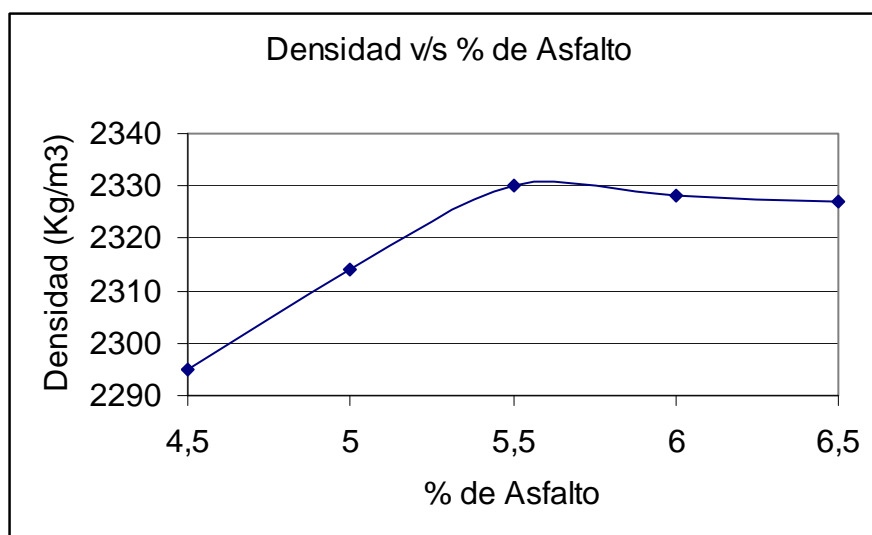
Tamiz	Tamiz	Mezcla	Banda Trabajo
Pulgada	mm.	% Pasa	
1	25	100	100
3/4	20	100	100
1/2	12.5	94	80 - 95
3/8	10	84	70 - 85
Nº 4	5	56	43 - 58
Nº 8	2.5	38	28 - 42
Nº 30	0.630	19	13 - 24
Nº 50	0.315	12	8 - 17
Nº 100	0.160	8	6 - 12
Nº 200	0.080	6	4 - 8

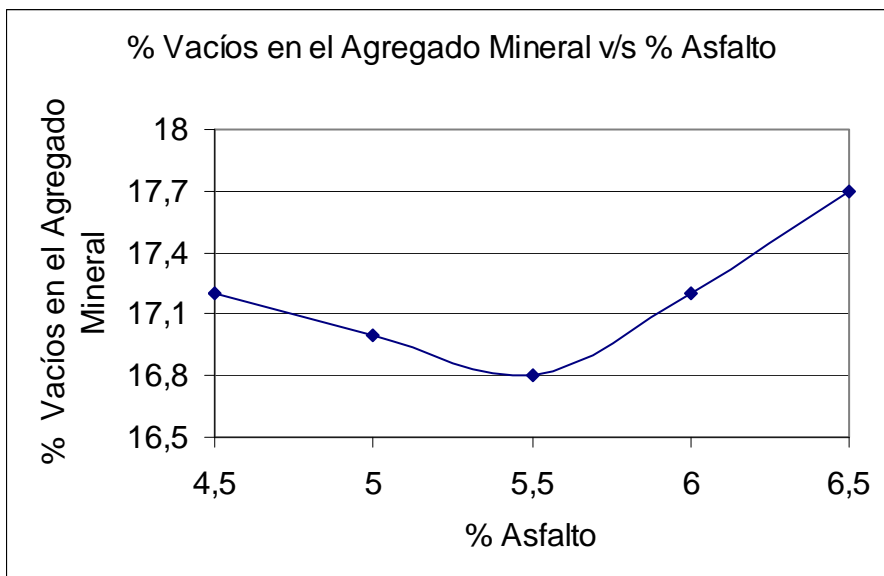
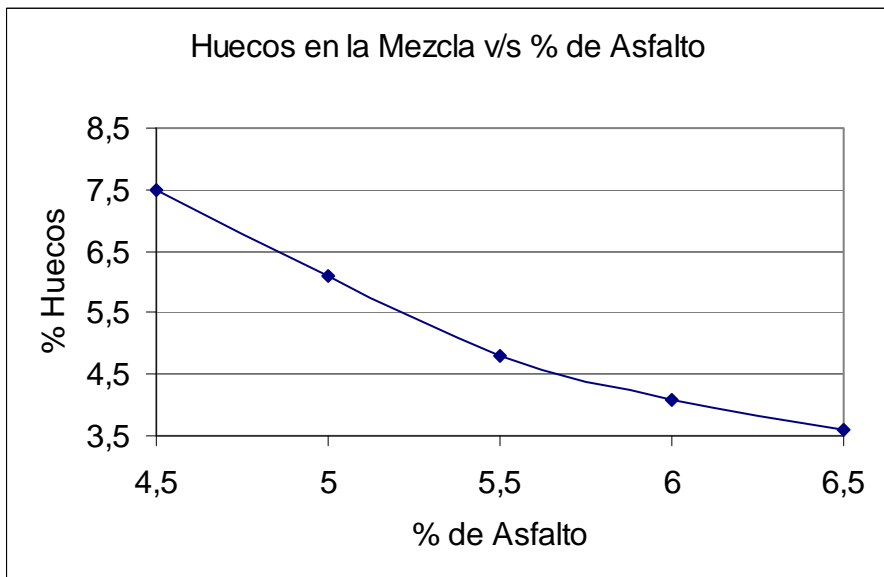
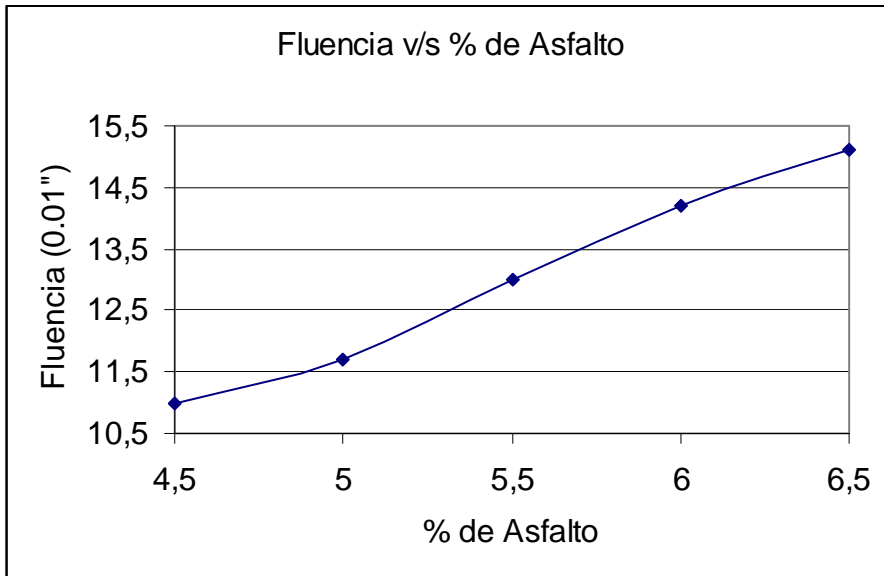


Bitumix	(% ref. agregado)	5.5 ± 0.3
Densidad Marshall	(kg/m ³)	2330
Temperatura de mezclado	(° C)	150° C ± 3° C
Temperatura de compactación	(° C)	141° C ± 3° C

Obs.: La dosificación de los áridos para efecto de la alimentación es en frío, debe modificarse de acuerdo a la dispersión de sus granulometrías en el transcurso de la obra.

4.2.1.6.- Gráficos Parámetros Marshall.





4.2.2.- Parámetros Marshall (Asfalto Modificado con Polímero).

4.2.2.1.- Cálculo de la Densidad (8.302.38 del M.C. (ex LNV 13)).

En este ensayo existen 2 métodos diferentes, el método A “Probetas Cubiertas con Parafina” y el método B “Probetas con Superficie Saturada Seca”

Método B:

Se determina el porcentaje de agua absorbida con la siguiente expresión:

$$G = \frac{A}{B - C} \times 1000$$

Donde:

- G : Densidad de la probeta.
- A : Masa de la probeta seca (gr.).
- B : Masa de la probeta saturada superficialmente seca (gr.).
- C : Masa de la probeta sumergida (gr.).

$$G_1 = \frac{1151}{1154 - 668} \times 1000 = 2368 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$G_2 = \frac{1151}{1155 - 672} \times 1000 = 2383 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$G_3 = \frac{1152}{1154 - 664} \times 1000 = 2351 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$G = \frac{G_1 + G_2 + G_3}{3}$$

3

$$G = \frac{2368 + 2383 + 2351}{3} = 2367 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

3

En la tabla 4.16. se presentan las densidades obtenidas de cada una de las mezclas asfálticas.

4.2.2.2.- Análisis de Huecos.

En este análisis se debe calcular la cantidad de vacío en la mezcla compactada (V_a) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.A.M.), según se indica a continuación:

4.2.2.2.1.- Huecos de Aire en la Mezcla (V_a).

El porcentaje de huecos en la mezcla, se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

$$V_a = 100 \times \frac{D_{mm} - G}{D_{mm}}$$

Donde:

V_a : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla (kg/m^3).

G : Densidad de la mezcla compactada (kg/m^3) (ex LNV 13).

$$V_a = 100 \times \frac{2501 - 2367}{2501} = 5.4 \text{ (\%)}$$

En la tabla 4.16. se presenta el porcentaje de huecos en la mezcla obtenidas de cada una de las mezclas asfálticas.

El término Dmm se calcula de la siguiente manera:

$$Dmm = \frac{A}{A + D - E} \times 1000$$

Donde:

Dmm : Densidad máxima de la mezcla (kg/m³).

A : Masa de la muestra seca en aire (gr.).

D : Masa del matraz con agua a 25° C. (gr.).

E : Masa del matraz con agua y la muestra a 25° C (gr.).

$$Dmm = \frac{2293}{2293 + 11799 - 13178} \times 997.1 = 2501 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

En la tabla 4.16. se presenta el Dmm obtenido de cada una de las mezclas asfálticas.

4.2.2.2.2.- Vacíos en el Agregado Mineral (V.A.M.).

El porcentaje de vacíos del agregado mineral (V.A.M.), se calcula de acuerdo a la siguiente formula:

$$VAM = 100 - \frac{G}{\rho_{Rs} (100 + Pb)} \times 100 \times 100$$

Donde:

VAM : Porcentaje de vacío en los agregados minerales (%).

G : Densidad de la mezcla compactada (kg/m³).

ρ_{rs} : Densidad real seca del agregado (kg/m³).

Pb : Porcentaje de asfalto referido al agregado (%).

La densidad real seca del agregado (prs), se calcula de la siguiente manera:

$$VAM = 100 - \frac{2367}{2655} \times \frac{100}{(100 + 5.5)} \times 100 = 15.5 (\%)$$

En la tabla 4.16. se presenta el V.A.M. obtenido de cada una de las mezclas asfálticas.

4.2.2.3.- Huecos Llenos con Asfalto (V11).

Los Huecos llenos con asfalto se calculan de acuerdo ha la formula:

$$V11 = 100 - \frac{Va}{V.A.M.} \times 100$$

Donde:

V11 : Porcentaje de huecos llenos de asfalto (%)

Va : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).

V.A.M.: Porcentaje de vacío en los agregados minerales (%).

$$V11 = 100 - \frac{5.4}{15.5} \times 100 = 65 (\%)$$

En la tabla 4.16. se presenta el V11 obtenido de cada una de las mezclas asfálticas.

Tabla 5.16.

75 golpes por capa							Rangos
AsfalChile Mobil	(% gr. Ag.)	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	
Densidad	(kg/m ³)	2317	2337	2367	2334	2328	
Dmm	(kg/m ³)	2522	2505	2501	2450	2430	
Huecos	(%)	8.1	6.7	5.4	4.7	4.2	4 – 6
V.A.M.	(%)	16.4	16.2	15.5	17.1	17.7	Min. 14
Huecos Llenos	(%)	51	59	65	73	76	
Fluencia	(0.01")	11.5	12	13.5	15.5	18	8 – 16
Estabilidad	(N)	18973	20594	23508	14221	12799	Min. 9000

4.2.2.4.- Determinación del Contenido Óptimo de asfalto.

Se determina el contenido óptimo de asfalto de la mezcla considerando la densidad, estabilidad y huecos en la mezcla, de dichos cálculos se determinan los porcentajes de asfalto (Pb) que entregan:

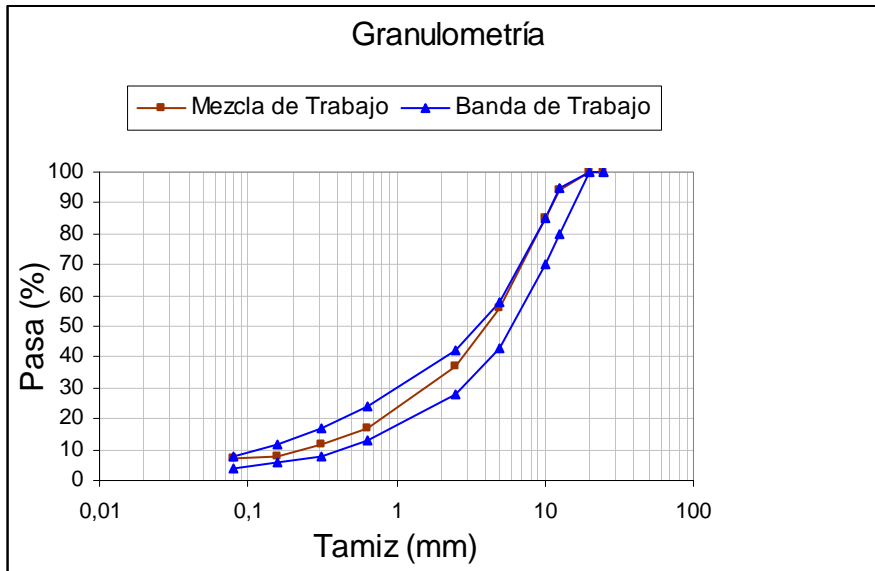
- Máxima estabilidad (Pb1).
- Máxima densidad (Pb2).
- Contenido de asfalto para un 5% de huecos (Pb3).

El contenido óptimo de asfalto se calcula como la medida aritmética de los tres valores obtenidos, es decir:

$$Pb \text{ óptimo} = \frac{Pb1 + Pb2 + Pb3}{3}$$

3

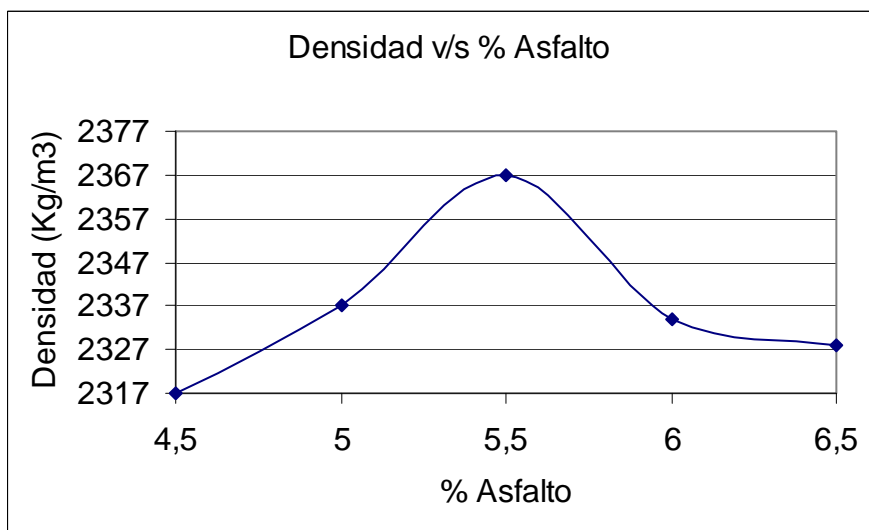
Finalmente se debe verificar que el contenido óptimo de asfalto obtenido, con una tolerancia de $\pm 0,3$ puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla.

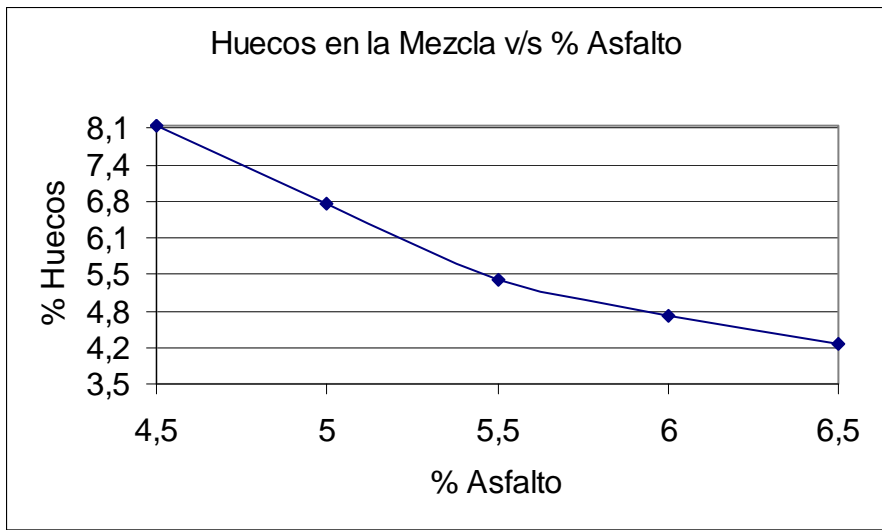
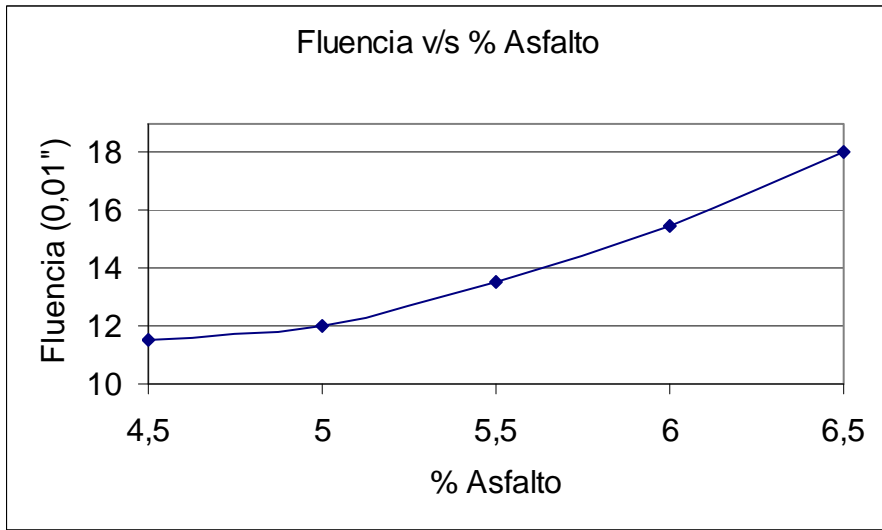
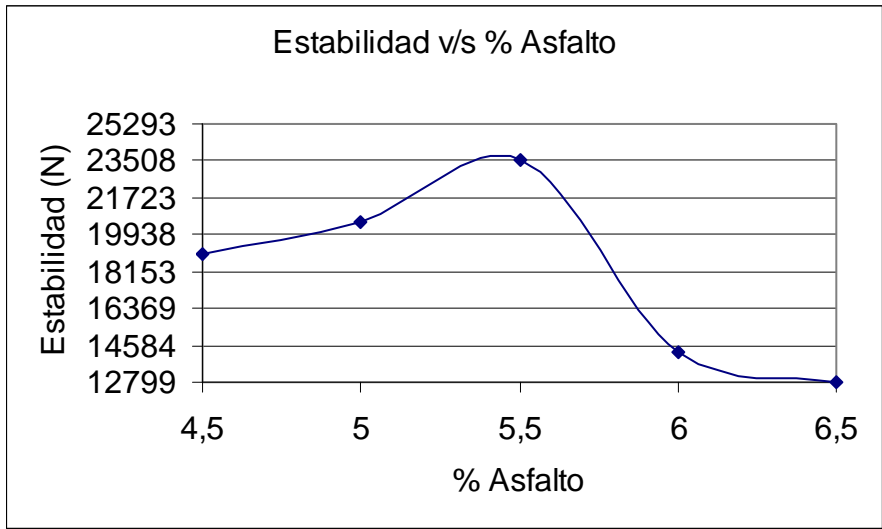


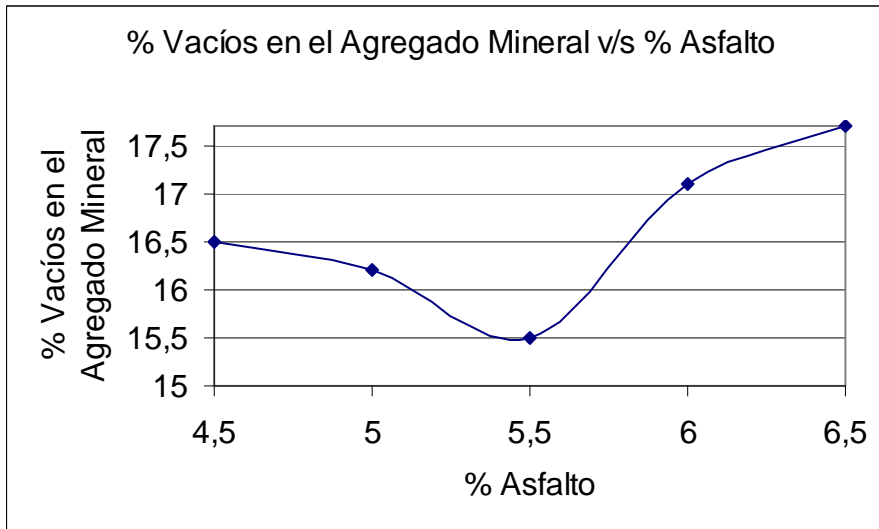
AsfalChile Mobil	(% ref. agregado)	5.6 ± 0.3
Densidad Marshall	(kg/m ³)	2367
Temperatura de mezclado	(° C)	184° C ± 5° C
Temperatura de compactación	(° C)	167° C ± 10° C

Obs.: La dosificación de los áridos para efecto de la alimentación es en frío, debe modificarse de acuerdo a la dispersión de sus granulometrías en el transcurso de la obra.

4.2.2.6.- Gráficos Parámetros Marshall.

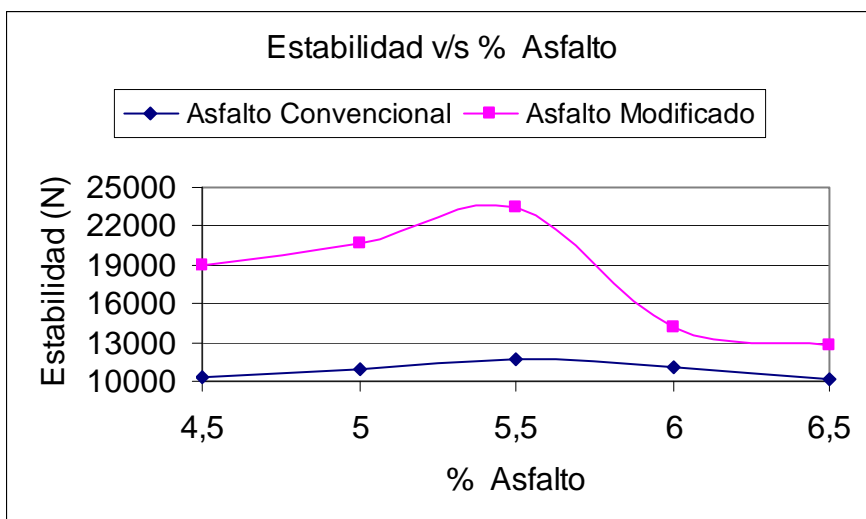
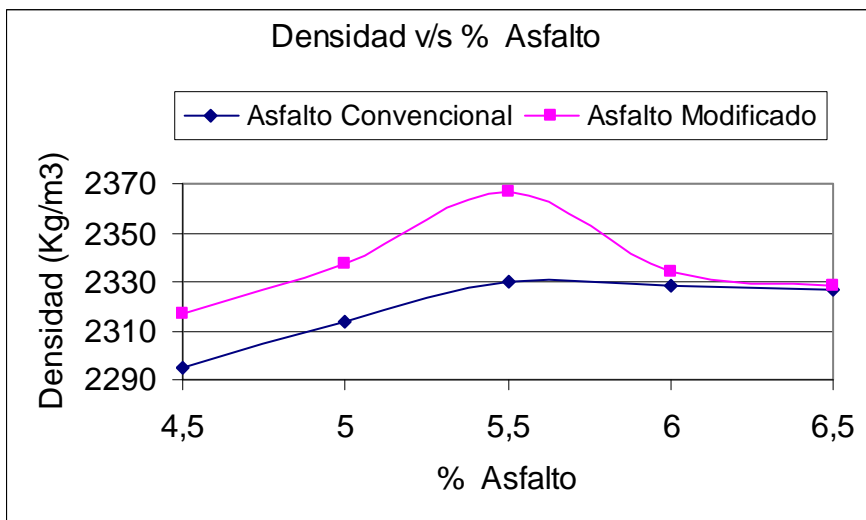


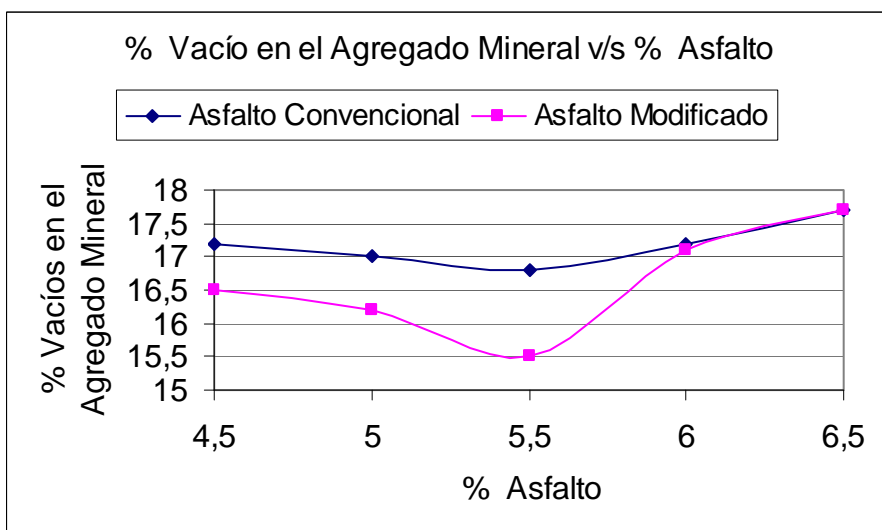
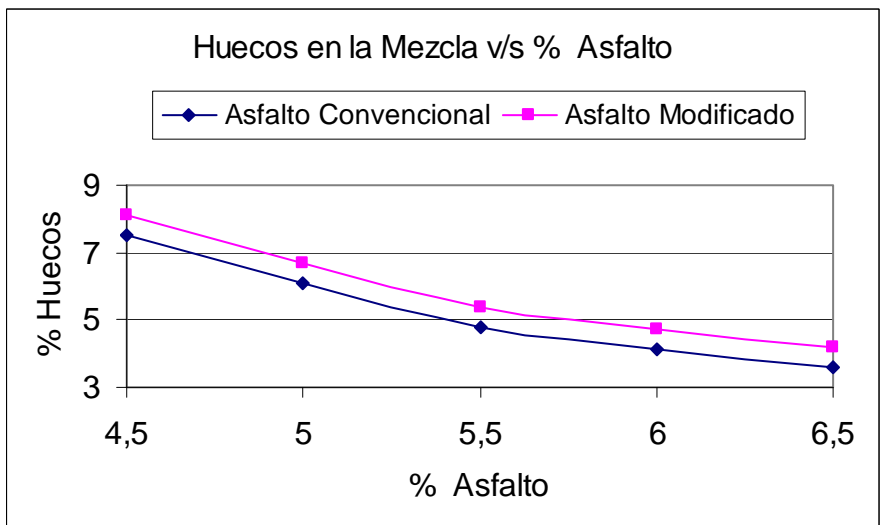
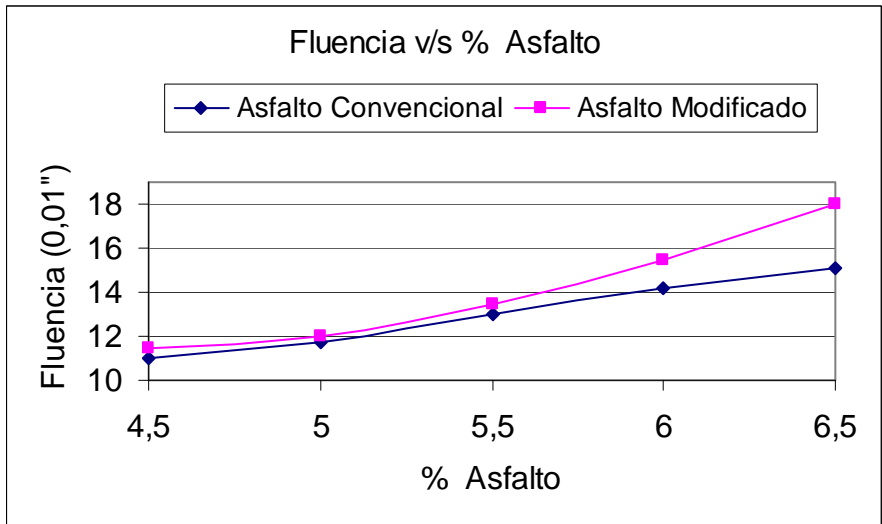




4.2.3.- Gráficos Parámetros Marshall Asfalto convencional v/s Asfalto

Modificado con Polímero





4.3.- Ensaye de Compresión.

Los moldes deberán ser de metal u otro material resistente, de superficies interiores lisas, libres de saltaduras, hendiduras o resaltes. Las superficies de los moldes que entran en contacto con el asfalto se untaran con una delgada película que prevenga la adherencia y no reaccione con los componentes del asfalto.

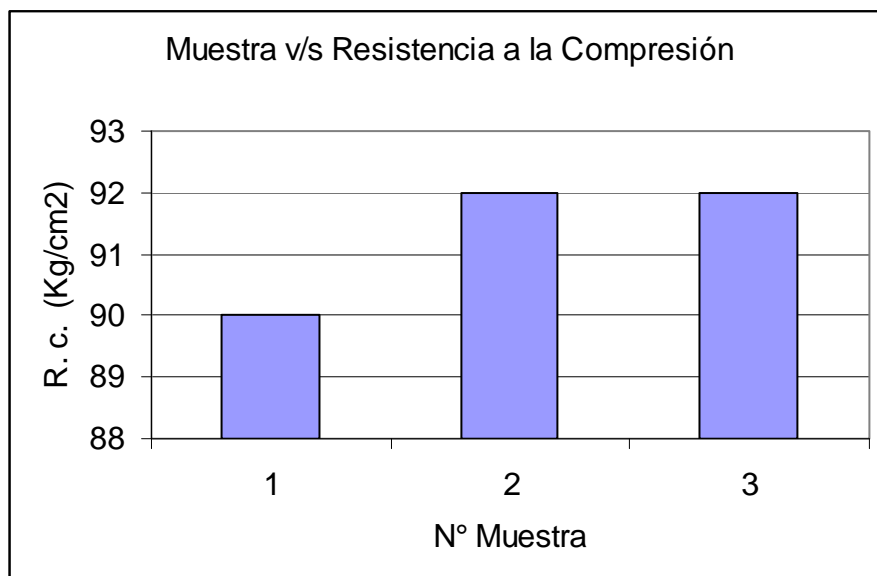
Para efectuar el ensaye se limpiaran las superficies de contacto de las placas de carga y de la probeta y colocar la probeta en la maquina de ensayo alineada y centrada. Se acerca la placa superior de la maquina de ensayo y asentarla sobre la probeta de modo de obtener un apoyo lo mas uniforme posible, luego se aplica la carga en forma continua y sin choques a velocidad uniforme.

4.3.1.- Asfalto Convencional.

Características de los Probetas							
Muestra	Altura	diámetro	Área	P. Aire	P. Agua	P. SSS	Den.
Nº	(mm)	(mm)	(mm)	(gr.)	(gr.)	(gr.)	(kg/m ³)
1	60.13	100.15	7876	1159	674	1160	2385
2	60.14	100.14	7876	1139	658	1142	2353
3	60.18	100.14	7876	1151	660	1155	2335

Resultados		
Muestra	Carga máxima	Rc
Nº	(KN)	kg/cm ²
1	54	90
2	55	92
3	55	92

4.3.1.1.- Gráfico Resistencia de Compresión Asfalto Convencional.

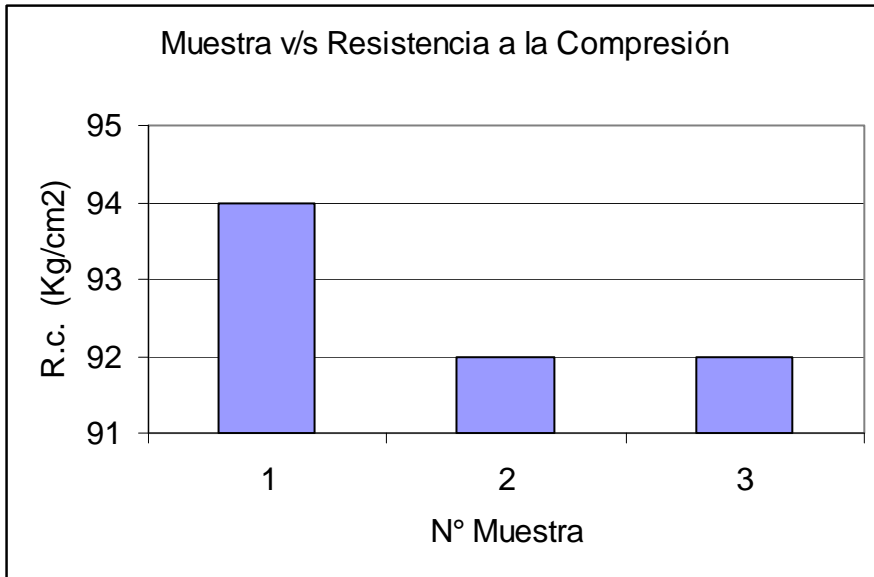


4.3.2.- Asfalto Modificado con Polímero.

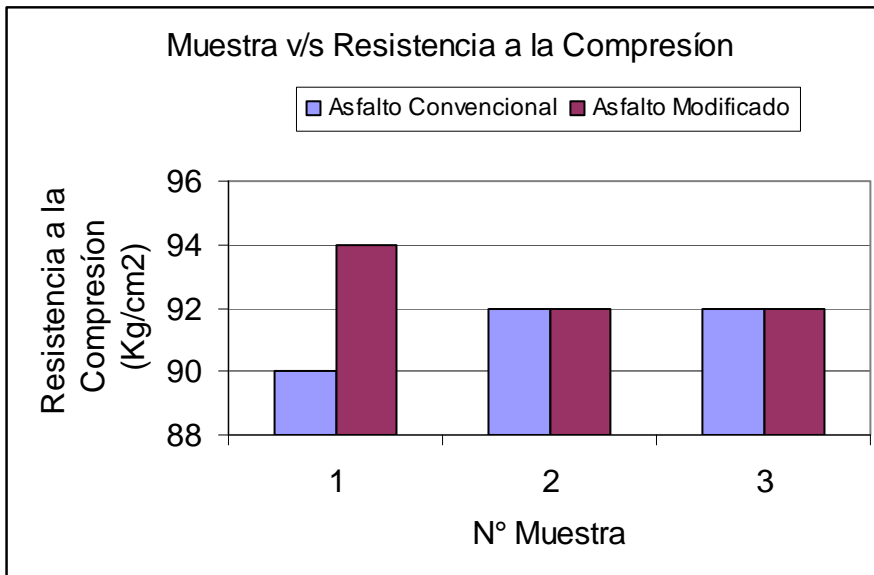
Características de los Probetas							
Muestra	Altura	diámetro	Área	P. Aire	P. Agua	P. SSS	Den.
N°	(mm)	(mm)	(mm)	(gr.)	(gr.)	(gr.)	(kg/m ³)
1	60.13	100.15	7876	1160	675	1161	2387
2	60.16	100.14	7876	1138	657	1141	2351
3	60.23	100.15	7876	1151	661	1154	2335

Resultados		
Muestra	Carga máxima	Rc
N°	(KN)	kg/cm ²
1	56	94
2	55	92
3	55	92

4.3.2.1.- Gráfico Resistencia de Compresión con Asfalto Modificado.



4.3.3.- Gráficos Resistencia de Compresión Asfalto convencional v/s Asfalto Modificado con Polímero.



CAPITULO V

OTROS ENSAYES.

No solo es importante ensayar el asfalto y los áridos separadamente, sino que deben realizarse ensayos sobre combinaciones de estos materiales hasta establecer las proporciones y características adecuadas para estas mezclas.

5.1.- Hveem.

El método de Hveem para proyecto y comprobación de mezclas asfálticas comprende los tres ensayos principales siguientes:

- Ensaye del estabilómetro.
- Ensaye del cohesiómetro.
- Ensaye del equivalente centrífugo en keroseno (CKE).

Estos ensayos se emplean para proyectar muestras en el laboratorio. El CKE se emplea también como ensayo de obra.

Los ensayos del estabilómetro y del cohesiómetro son aplicables a mezclas que contengan betún asfáltico o asfaltos líquidos y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de 1" (2.5 cm.). Las probetas de 2 ½" (6.35 cm.) de altura y 4" (10 cm.) de diámetro se compactan por procedimientos normalizados en un compactador por amasado como el que se representa en la figura 5.1.

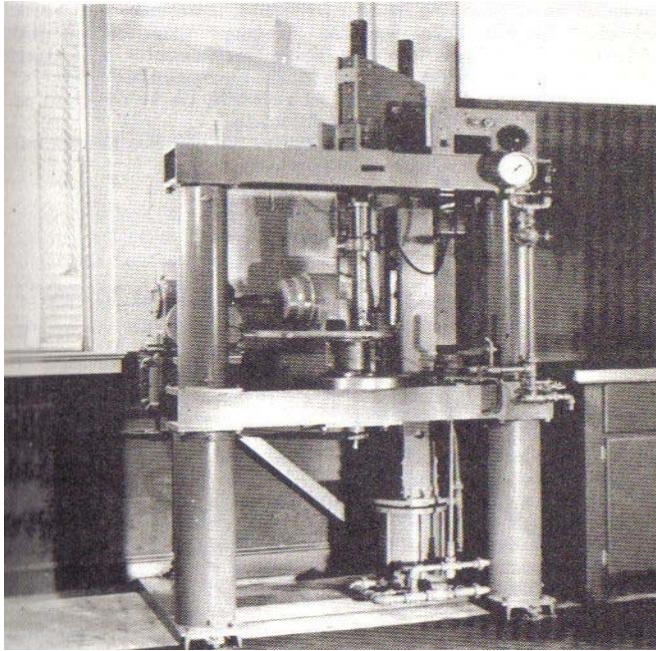


Fig. 5.1. Compactador de amasado para preparación de probetas (Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto).

Se determina la densidad de huecos de la probeta compactada, que se calienta después a 60 °C y se somete a ensaye en el estabilómetro Hveem. Este ensaye es un tipo de ensayo triaxial en que se aplican cargas verticales y se miden la presiones laterales desarrolladas para determinados valores de la carga vertical. El ensaye se representa esquemáticamente en la figura 5.2.

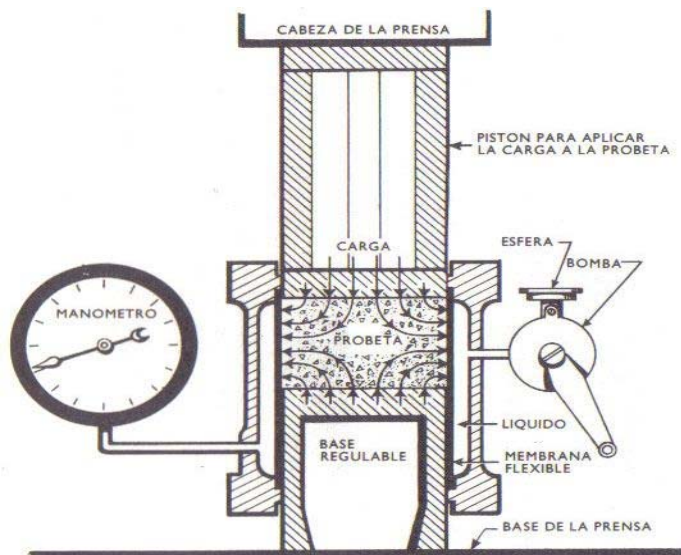


Fig. 5.2. Ensayo de estabilómetro de Hveem (Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto).

La probeta esta encerrada en una membrana de goma rodeada por un líquido que transmite la presión lateral desarrollada durante el ensayo. Los valores obtenidos durante el ensaye son de carácter relativo. Se ha establecido la escala sobre la base de que, si la probeta fuera un liquido, la presión lateral seria igual a la presión vertical, en cuyo caso se considera que la estabilidad relativa es nula. En el otro extremo de la escala se considera un solidó incompresible, que no transmite presión vertical, y al que se atribuye una estabilidad relativa de 90. Los ensayes sobre las mezclas asfálticas para pavimentación dan valores comprendidos 0 -90. La estabilidad relativa de la probeta se calcula por una formula establecida.

Usualmente, después de realizado el ensaye del estabilómetro, se somete la probeta al ensaye de cohesiómetro, que es un ensaye de flexión en el que la probeta se rompe por tracción, como se ve en la figura 5.3.

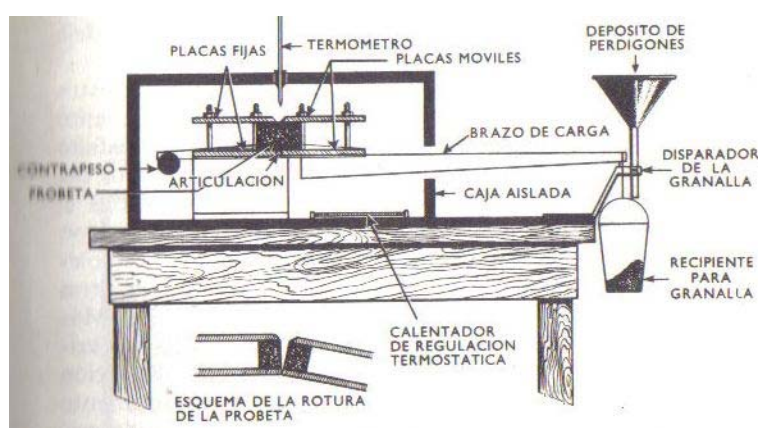


Fig. 5.3. Ensaye de cohesiómetro de Hveem (Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto).

En este ensaye también se calienta la probeta a 60 °C, manteniéndola a esta temperatura durante el periodo de ensaye en una cámara de termostática. La probeta se sujeta al aparato como se muestra en la figura 5.3. y la carga se aplica a velocidad constante en el extremo de un brazo de palanca. Cuando el brazo de la

palanca ha descendido media pulgada (12 mm.), se detiene automáticamente la caída de la granalla empleada para aplicarla carga y se determina su peso. El valor del cohesiómetro se determina por una formula establecida.

Otra parte del método de Hveem empleada a veces es la determinación del contenido de asfalto óptimo, estimado por un procedimiento denominado ensaye del equivalente centrífugo en queroseno (CKE). Se satura con queroseno la porción de los áridos de la mezcla que pasa por el tamiz número 4, centrifugándola a continuación. La parte que pasa por el tamiz 3/8" es retenida en el número 4, que se considera representativa de los áridos gruesos de la mezcla, se satura con lubricante y se deja escurrir durante 15 minutos a 60 °C.

Los pesos de queroseno y aceite retenidos por estos áridos se emplean como datos en un procedimiento para calcular y estimar el contenido óptimo de asfalto de la mezcla. Normalmente se realizan los ensayos del estabilómetro y cohesiómetro en probetas con el contenido del asfalto indicado por el ensaye CKE y con contenidos de asfalto mayores y menores para establecer el contenido de asfalto optimo y determinar estas características físicas de la mezcla compactada.

5.2.- Hubbard – Field.

El método de Hubbard – field es un procedimiento empleado para el proyecto en laboratorio para mezclas asfálticas para pavimentación. El procedimiento se desarrollo originalmente para el proyecto de mezclas de tipo arena – asfalto, empleando betunes asfálticos, en las que todos los áridos pasaran por el tamiz numero 4 y al menor el 65% por el numero 10. las partes principales del ensaye son un análisis densidad – huecos y un ensaye de estabilidad.

Se preparan, empleando procedimientos de compactación especificados, probetas de 2" (5 cm.) de diámetro y 1" (2.5 cm.) de altura. Se determinan la

densidad y los huecos de la probeta compactada, que a continuación se somete al ensaye de estabilidad Hubbard – field como se indica en la figura 5.4.

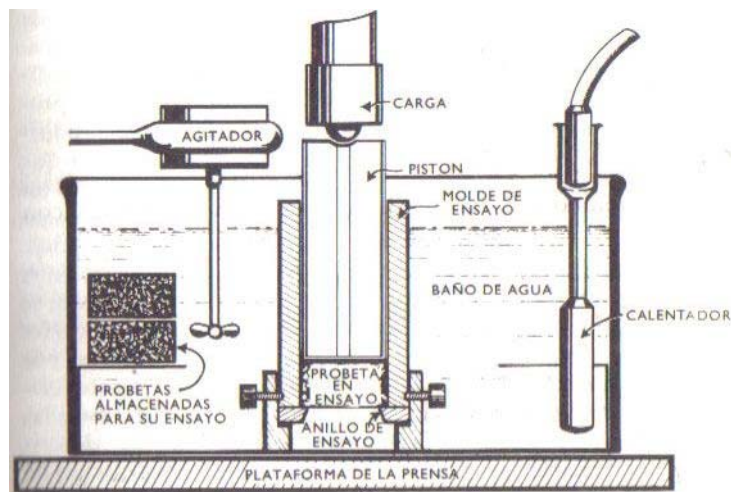


Fig. 5.4. Ensaye hubbard - field a probetas de 2" de diámetro (Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto).

En este ensaye, primeramente, se calientan las probetas a 60 °C y se colocan en moldes de ensaye. Se aplican las cargas como se indica en la figura con una velocidad de deformación de 2.4" (61 mm.) por minuto. La probeta de 2" de diámetro se hace pasar a través de un orificio mas estrecho, de 1.75" (45 mm.) de diámetro. La máxima carga producida, en libras, es la estabilidad Hubbard – field.

Se preparan dos o tres probetas con cada uno de varios contenidos de asfalto, usualmente con variaciones 0.5% por encima y por debajo de un optimo establecido. Los valores medidos obtenidos para cada contenido de asfalto se representan en gráficos y se emplean para fijar el contenido óptimo. Estos datos se emplean también para determinar si la mezcla cumple determinados criterios establecidos para el contenido óptimo de asfalto.

Como el procedimiento que se describió solamente es aplicable a mezclas asfálticas de tipo arena – asfalto, se ideó un procedimiento modificado aplicable a mezclas asfálticas con áridos gruesos. En el procedimiento modificado se prepara por un método especificado una probeta de 6" (15 cm.) de diámetro y una altura de 2

$\frac{3}{4}$ a 3" (70 a 76 mm.). Se obliga a la probeta a pasar a través de un orificio de 5.75" (14,6 cm.). El ensayo se representa esquemáticamente en la figura 5.5. Por lo demás, el procedimiento es esencialmente idéntico al descrito para probetas de 5 cm. de diámetro. El procedimiento modificado no se emplea mucho por haberse observado que las variaciones en la orientación de las partículas de los áridos gruesos cerca del orificio del molde dan lugar frecuentemente a valores erráticos de la estabilidad.

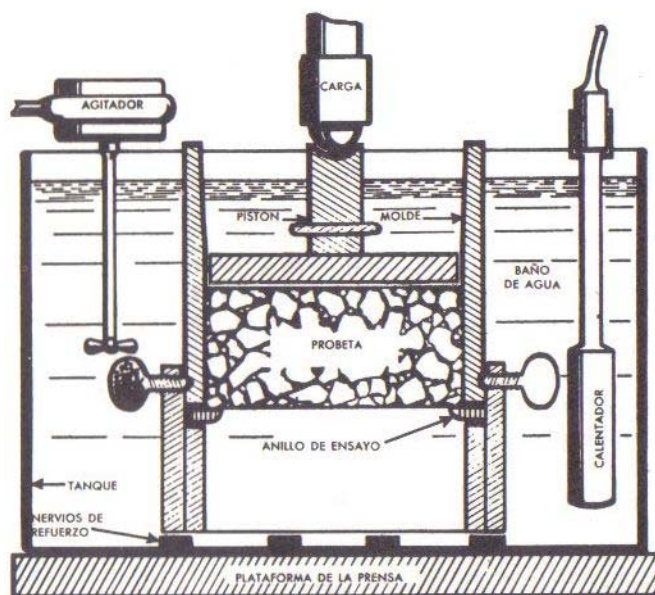


Fig. 5.5. Ensayo hubbard - field a probetas de 6" de diámetro (Instituto del Asfalto, Manual del Asfalto).

CONCLUSIONES

De acuerdo con el estudio correspondiente al análisis experimental del uso de Polímeros en el asfalto y en base a los resultados obtenidos, se requiere dar a conocer como conclusiones que a continuación se exponen:

Las mezclas elaboradas con altas temperaturas presentaron un recubrimiento totalmente adecuado y no se presentó problema alguno, en el mezclado ni en la compactación.

Al analizar los resultados obtenidos de estabilidad y fluencia queda demostrado que las mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos modificados poseen un mejor comportamiento que las mezclas elaboradas con asfalto convencional, tal como se esperaba, ya que la finalidad de modificar los asfaltos es mejorar sus propiedades.

Los asfaltos modificados con polímeros, tienden a volver a su posición original una vez que se retira el esfuerzo de tensión a que habían sido sometidos.

Por lo anterior, los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (roderas), pues los asfaltos modificados presentan una mayor recuperación de su forma, por lo tanto, menor deformación permanente de las mezclas que componen las capas de rodamiento.

Los asfaltos modificados con polímero, tienen una mayor capacidad de mantener su forma bajo las presiones a las cuales son sometidos.

Como se observó en las pruebas de laboratorio realizadas a ambos materiales, podemos decir que el asfalto modificado con polímero, debido a su alta estabilidad puede ser sometido a una carga máxima mayor que el asfalto tradicional.

El contenido de huecos de aire (V_a) es uno de los parámetros de desempeño más importantes de una mezcla asfáltica. Existe acuerdo en que el rango adecuado

de desempeño de una mezcla se consigue para contenidos de vacíos de 4 % a 6 %. Para contenidos de vacíos bajo 4 % la mezcla es muy propensa a exudar y/o ahuellarse. Por otro lado, para contenidos de vacíos superiores a 6 la mezcla puede sufrir excesiva oxidación, agrietamiento prematuro y desintegración. Todos los valores obtenidos para el óptimo están dentro del rango recomendado por el Laboratorio Nacional de Vialidad (4 % - 6 %)

El V.A.M., o contenido de vacíos en el agregado mineral, es una propiedad que depende del agregado (forma y granulometría) y del contenido asfáltico. Valores de V.A.M. muy bajos puede indicar que en terreno el asfalto no tendrá suficiente espacio y que por lo tanto podría exudar. Valores de V.A.M. muy altos también es asociado con la ahuellamiento ya que se requiere un mayor contenido asfáltico para cumplir con las especificaciones de diseño. Todos los asfaltos estudiados cumplen con el requisito exigido por la norma, es decir, un V.A.M. mayor a 14 %.

La densidad es el grado de solidez que se puede alcanzar en una mezcla dada y que sólo está limitado por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la masa, en el asfalto modificado con polímero se alcanza una densidad mayor que en el asfalto convencional, pero aun así esta muy por debajo de la densidad máxima de la mezcla (D_{mm}).

El ensayo de compresión de probetas no es determinante para el análisis comparativo que se está realizando, debido a que en ambos asfaltos la compresión se produce cuando los áridos se comprimen. ya que una de las principales cualidades del asfalto es que es un pavimento flexible. La carga máxima que soporta el asfalto se mide en el ensaye marshall, específicamente en la estabilidad.

BIBLIOGRAFIA

Referencias

- 1.- Manual de Carreteras Volumen N° 8, “Especificaciones y Método de muestreo, Ensaye y Control”, Gobierno de Chile Ministerio de Obras Publicas – Dirección de vialidad, diciembre 2003.
- 2.- Manual de Carreteras Volumen N° 5, “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción”, Gobierno de Chile Ministerio de Obras Publicas – Dirección de vialidad, diciembre 2003.
- 3.- “Curso de Diseño de Pavimentos”, Departamento de Obras Civiles, Universidad Técnica Federico Santa Maria.
- 4.- “Curso de control de calidad de Obras Viales 1997”, laboratorio Nacional de Vialidad, Instructor Héctor Rioja V.
- 5.- “Asfalto, Curso Laboratorista Vial”, Volumen II, Laboratorio Nacional de Vialidad, cuarta edición, junio 1997.
- 6.- The Asphalt Institute (1977), “Manual del Asfalto”, Urmo, S.A. de Ediciones.
- 7.- Bravo, P., “Determinación de las Temperaturas de mezclado y compactación en laboratorio, para asfaltos modificados”, Memoria para optar al título de Ingeniero civil, Universidad Técnica Federico Santa Maria, Valparaíso, Chile, enero 2003.
- 8.- “Caminos”, Asfaltos chilenos S.A., segunda edición, 1975
- 9.- “Control de Calidad en los pavimentos Asfálticos”, 8º Simposio, Comisión Permanente del Asfalto, Argentina, 1982.
- 10.- Utilization of Asphalt Emulsions in Highway Construction and Maitenance. U.S. Department of Transportation, 1979.
- 11.- Ministerio de Vivienda Y Urbanismo “Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de pavimentación”, julio 1994 Santiago Chile

Direcciones Web.

<http://www.vialidad.gov.cl>

<http://www.asfalchilemobil.cl>

<http://www.ichasfalto.cl>

<http://www.monografias.com/trabajos11/polim/polim.shtml>

<http://www.monografias.com/trabajos15/asfaltos-modificados/asfaltos-modificados.shtml>