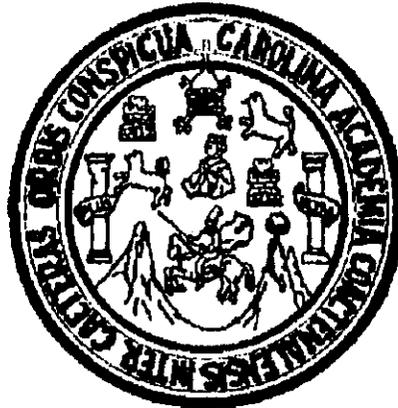


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE  
MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE

TESIS



PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

JOSÉ LUIS LEÓN FAJARDO.

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1,996.

08  
T(3797)  
B.4



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos,  
presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE  
MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, de la  
Facultad de Ingeniería con fecha 30 de Octubre de 1995.

JOSE LUIS LEÓN FAJARDO

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA**

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>DECANO:</b>        | Ing. Julio Ismael González Podszueck.    |
| <b>VOCAL PRIMERO:</b> | Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra.        |
| <b>VOCAL SEGUNDO:</b> | Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano.      |
| <b>VOCAL TERCERO:</b> | Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.      |
| <b>VOCAL CUARTO:</b>  | Br. Fernando Waldemar de León Contreras. |
| <b>VOCAL QUINTO:</b>  | Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor.      |
| <b>SECRETARIO:</b>    | Ing. Francisco Javier González López.    |

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO.**

|                    |                                       |
|--------------------|---------------------------------------|
| <b>DECANO:</b>     | Ing. Julio Ismael González Podszueck. |
| <b>EXAMINADOR:</b> | Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez.   |
| <b>EXAMINADOR:</b> | Ing. Oscar Rolando Majus Hernández.   |
| <b>EXAMINADOR:</b> | Ing. Julio Guillermo García Ovalle.   |
| <b>SECRETARIO:</b> | Ing. Francisco Javier González López. |



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 2 de Octubre de 1,996

**Ingeniero**

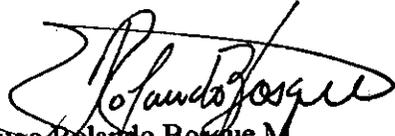
**Edgar Daniel De León Maldonado,**  
**Jefe del Área de Transportes**  
**Escuela de Ingeniería Civil,**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala,**  
**Presente.**

**Ingeniero De León.**

Atentamente me dirijo a usted, para manifestarle que de acuerdo con lo dispuesto por esa dirección, he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulado: **CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE**, desarrollado por el estudiante **José Luis León Fajardo**, previo a optar el título de Ingeniero Civil.

Este trabajo da una definición de las diferentes especificaciones y criterios que se deben de tomar en cuenta para el diseño de mezclas asfálticas . Por lo que, es de interés especial en la actualidad, la doy por aprobada, siendo ambos responsables del contenido, conclusiones y recomendaciones de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

  
Hugo Rolando Bosque M.  
INGENIERO CIVIL  
ASESOR DE TESIS



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 13  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 10 de Octubre de 1,996

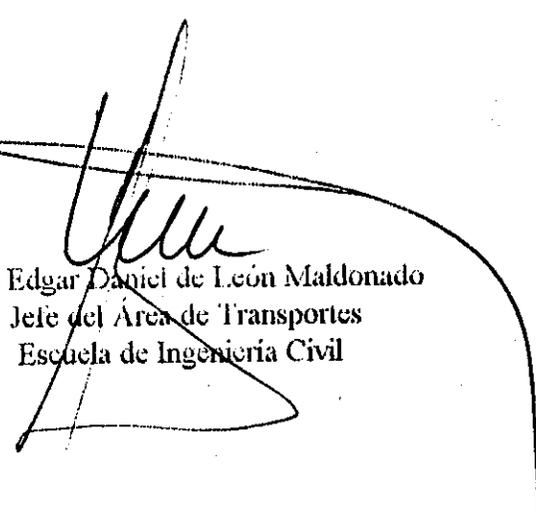
Ingeniero  
Jack Douglas Ibarra,  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería,  
USAC.

Señor Director:

Por medio de la presente informo a usted, que he revisado el trabajo de tesis titulado **CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE**, desarrollado por el estudiante José Luis León Fajardo, quien contó con la asesoría del Ingeniero Hugo Rolando Bosque M.

Considerando que el trabajo en mención fue realizado de acuerdo a los requisitos exigidos y es de utilidad para el ejercicio profesional, me permito recomendar la aprobación correspondiente.

Atentamente



Ing. Edgar Daniel de León Maldonado  
Jefe del Área de Transportes  
Escuela de Ingeniería Civil



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Hugo Rolando Bosque M. y Jefe del Area de Transporte Ing. Edgar Daniel de León Maldonado, al trabajo de tesis del estudiante José Luis León Fajardo, titulado "CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE", da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Jack Ben Solórzano



Guatemala, octubre 1, 1996.

JDIS/isa.



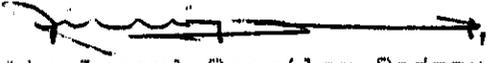
**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis **CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE**, del estudiante José Luis León Fajardo.

IMPRIMASE:

  
Ing. Julio Ismael González Podszueck

DECANO



Guatemala, octubre de 1,996

/isa.

## **AGRADECIMIENTO A:**

**DIOS TODO PODEROSO, POR PERMITIRME FINALIZAR MIS ESTUDIOS.**

**ING. HUGO ROLANDO BOSQUE MORALES, POR SU GUÍA EN LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO.**

**EL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, ESPECIALMENTE AL LABORATORIO DE SUELOS, POR EL APOYO TÉCNICO BRINDADO.**

**TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE, DE UNA U OTRA FORMA, COLABORARON EN LA REALIZACIÓN DEL MISMO, ESPECIALMENTE A ERICKA SCHWARTZ POR SU AYUDA Y COMPRENSIÓN.**

**ACTO QUE DEDICO A:**

**MIS ABUELOS**

JOSÉ ÁNGEL LEÓN U.  
CÁNDIDA ROSA SAGASTUME DE LEÓN.  
ALBERTO FAJARDO SOTO ( Q.E.P.D. )  
MANUELA FRANCO SAGASTUME.

**MIS PADRES**

JOSÉ LUIS LEÓN SAGASTUME.  
MARÍA DEL CARMEN FAJARDO DE LEÓN

**MI HERMANA**

DEFNY FABIOLA

**MI SOBRINO**

JOSÉ CARLOS

**MIS FAMILIARES, AMIGOS Y COMPAÑEROS**

**LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

# ÍNDICE

|                   | Pagina |
|-------------------|--------|
| Introducción..... | i      |
| Objetivos.....    | ii     |

## CAPITULO 1

|  |          |
|--|----------|
| <b>1.1. PAVIMENTOS.....</b>  | <b>1</b> |
| 1.1.1. Características descables de un pavimento.....                | 1        |
| 1.1.2. Capas de soporte de un pavimento.....                         | 1        |
| 1.1.3. Factores para determinar el grosor de un pavimento.....       | 1        |
| 1.1.4. Clasificación de pavimentos.....                              | 1        |
| <b>1.2 ASFALTO.....</b>  | <b>3</b> |
| 1.2.1 Recursos y naturaleza del asfalto.....                         | 3        |
| 1.2.2 Clasificación, propiedades químicas Y físicas del asfalto..... | 6        |
| 1.2.3 Ensayos y especificaciones de cementos asfálticos .....        | 16       |

## CAPITULO 2

|  |           |
|--|-----------|
| <b>2. AGREGADOS.....</b>                                       | <b>21</b> |
| 2.1. Algunos términos típicos.....                             | 21        |
| 2.2. Clasificación de agregados.....                           | 22        |
| 2.3. Origen de agregados.....                                  | 22        |
| 2.4. Producción de agregado, reserva, manípulo Y muestreo..... | 24        |
| 2.5. Propiedades de agregados y evaluación.....                | 26        |
| 2.6. Ensayos de agregados.....                                 | 32        |

## CAPITULO 3

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3. DISEÑO DE MEZCLA.....</b>                               | <b>42</b> |
| 3.1. Recomendación.....                                       | 42        |
| 3.2. Producción de la mezcla asfáltica.....                   | 42        |
| 3.3. Características de la mezcla y comportamiento.....       | 43        |
| 3.4. Propiedades consideradas en el diseño de mezcla.....     | 46        |
| 3.5. Evaluación y ajuste del diseño de una mezcla.....        | 52        |
| 3.6. Aplicaciones del experimento de un diseño de mezcla..... | 53        |

|   | <b>Pag.</b> |
|---|-------------|
| 3.7. Método de Marshall para el diseño de mezcla..... | 55          |
| 3.8. Diseño de mezcla Marshall.....                   | 56          |
| 3.9. Analizando resultados de pruebas Marshall.....   | 62          |

## CAPITULO 4

### **4. PRUEBAS DE LABORATORIO Y RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS MATERIALES USADOS EN EL PRESENTE**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>TRABAJO.....</b>   | <b>66</b> |
| 4.1. Ensayos con el cemento asfáltico.....                      | 66        |
| 4.2. Ensayo a los agregados.....                                | 68        |
| 4.3. Fabricación de los especímenes de prueba.....              | 74        |
| 4.4. Ensayo a las briquetas.....                                | 75        |
| 4.5. Propuesta de una nueva mezcla mejorando los agregados..... | 78        |
| <br>  |           |
| Conclusiones.....   | iii       |
| Recomendaciones.....  | iv        |
| Bibliografía.....   | v         |

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano es y será indicativo del progreso social; la ampliación, mejora y trazo de nuevas rutas de comunicación vial, son respuesta a una manifestación espontánea de desarrollo. Las vías de comunicación vial han experimentado, en el medio guatemalteco, diferentes etapas de comportamiento evolutivo, es así como se ha tenido en épocas pasadas por parte de los sectores involucrados, algún interés manifiesto por desarrollar la red vial, con el diseño, trazo y ampliación de carreteras, caminos de penetración, rutas principales y rutas alternas, pero, igualmente, se ha experimentado el abandono en otros períodos, casi total, al mantenimiento o realización de otras obras de este tipo. Esta situación conduce a que en la actualidad, buena parte de la red vial se encuentra destruida, con un período de diseño finalizado o rebasado.

Es, sin embargo, en las actuales condiciones, si se requiere lograr un despegue económico, cuando deberá, hacerse mediante el mejoramiento de los medio de comunicación vial a efecto de lograr, de una manera más efectiva, el intercambio comercial y que diferentes regiones del país por su parte se integran al proceso productivo.

Con las nuevas políticas de gobierno de los diferentes países de América, a la cual Guatemala no es ajena, la política de descentralización es cada vez más acentuada y la ejecución y mantenimiento de obras, está destinada a que sean ejecutadas en su conjunto por la iniciativa privada con financiamiento del gobierno. En materia de nuestra competencia la ejecución de obra de tramos cortos o largos de la red vial del país, así como el mantenimiento y/o ejecución de tramos nuevos de las áreas urbanas con pavimentos para su mejor desplazamiento o tránsito, se ha hecho con base a diseños concebidos sin ningún análisis técnico. Poca relación a ese respecto existe; es la intención de este trabajo dejar sentados los primeros criterios que debieran observarse para obtener, en principio, en buen pavimento y muy específicamente en pavimento flexible (Asfalto-Agregado). Su caracterización y pruebas hechas a diseños específicos podrían contribuir a formular, en primera instancia soluciones a considerar por diferentes usuarios. Estos mismos criterios pueden, en el futuro constituirse en la herramienta de los supervisores o contratistas, que pueden utilizar o exigir al contratista a efecto de lograr una mejor calidad de las obras ejecutadas.

Para la realización del presente trabajo de tesis, se desarrolló el estudio de las mezclas asfálticas, tomando como referencia las especificaciones dadas por el Instituto de Asfaltos a nivel internacional y en materia nacional las regulaciones de la Dirección General de Caminos; los criterios ahí extraídos y vertidos en el desarrollo del trabajo, fijaron la pauta para la realización del segundo capítulo, que versa sobre características de los agregados, propiedades y conveniencia para el mejor diseño de las mezclas. Se procedió a su caracterización tomando en cuenta el origen y su clasificación. Como parte fundamental se mencionan y analizan los ensayos para agregados, su descripción y en análisis de los resultados obtenidos. La tercera etapa la constituyo el diseño propiamente de las mezclas, su comportamiento, la calidad obtenida, las expectativas, ventajas y desventajas. El diseño experimental se basó en la utilización del método Marshall. La etapa complementaria la constituye los resultados obtenidos de los ensayos que nos determinan la calidad de un mezcla. Finalmente se concluye con las conclusiones y recomendaciones obtenidas como producto del estudio.

## OBJETIVOS

1. El objetivo de este trabajo es dar los conceptos generales para el diseño y sus diferentes etapas de que consta el proceso de producción de una Mezcla asfáltica. Así, mismo se desarrolla un proyecto que permita establecer un prototipo para el desarrollo del diseño de Mezcla asfáltica.
2. Dar a conocer los análisis y ensayos, así como las especificaciones técnicas para lograr que todos los agregados minerales, mezclas y productos asfálticos cumplan con los requisitos de diseño y, de este modo, garanticen una mejor inversión y durabilidad en el proyecto.
3. Revisión de las especificaciones utilizadas y aprobadas en Guatemala.
4. Comparar los datos obtenidos de laboratorio en los diferentes ensayos realizados, con las especificaciones normadas.

# CAPITULO 1.

## 1.1. PAVIMENTOS

Es toda estructura artificialmente construida, alisada en su superficie y destinada a transmitir a la subrasante, sobre la cual descansa, los efectos de las cargas estáticas o en movimiento producidas por los vehículos, resistiendo los efectos destructivos del tránsito y de los agentes atmosféricos.

### 1.1.1. CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE UN PAVIMENTO

- Una sub-rasante adecuada.
- Desagüe apropiado para alargar la vida útil del asfalto.
- Espesor y fortaleza interna suficiente para resistir el tránsito esperado.
- Superficie pareja, resistente al deslizamiento, desgaste, deformación y deterioro por clima o por substancias químicas para deshielo.

### 1.1.2. CAPAS DE SOPORTE DE UN PAVIMENTO

1. Base asfáltica ( asfalto-agregado )
2. Piedra triturada, escoria o grava
3. Concreto con cemento portland y
4. Ladrillo viejo o pavimento de bloques de piedra.

Las bases y sub-bases, consisten en materiales granulados compactados o suelo estabilizado. Los agregados pueden tratarse con otros materiales (comúnmente asfaltos) la superficie de desgaste de un pavimento es la parte superior de la estructura.

### 1.1.3. FACTORES PARA DETERMINAR EL GROSOR DE UN PAVIMENTO

- Tránsito esperado.
- Fortaleza y otras propiedades de la sub-rasante.
- Fortaleza y otras características de los materiales de las capas del pavimento.
- Factores particulares de la carretera diseñada.

### 1.1.4. CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS

Dependiendo del tipo de la superficie de rodamiento, los pavimentos se han clasificado, en pavimentos rígidos y flexibles.

#### 1.1.4.1. Pavimento rígido.

Está constituido por una losa de concreto de cemento portland simple o reforzado, que resiste la carga e intensidad del tránsito que por ella pasa sin sufrir deformaciones excesivas, sino, sólo aquellas que el concreto permite.

Está constituido por varias capas:

- Capa de material de soporte  
Debidamente tratado para lograr las cualidades deseadas, normalmente los pavimentos rígidos utiliza una capa.
- Losa de concreto  
Es una capa de concreto hidráulica, limitada por bordes y juntas que son diseñadas con el propósito de prevenir las deformaciones y grietas, producto de los cambios de clima y de los esfuerzos a que es sometida. Está colocada sobre la base y debe ser capaz de distribuir en forma homogénea las cargas hacia ésta. Esta losa puede ser construida en concreto simple o reforzado. El refuerzo puede ser colocado en las juntas o con refuerzo continuo.

#### 1.1.4.2. Pavimentos flexibles:

Son aquellos que tienen una base flexible o semi-rígida sobre la cual se ha construido una capa de rodamiento formada por una mezcla bituminosa de asfalto o alquitrán y agregados pétreos. La estructura de un pavimento flexible está formada por la capa de rodadura, la base y la sub-base, cada una con funciones diferentes, a saber:

- Capa de rodadura: proporciona una superficie de rodamiento más eficaz y segura para el tránsito de vehículos; protege la base impermeabilizando la superficie, evitando las infiltraciones de agua que pueden saturar, parcial o totalmente las capas inferiores. Evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos. Contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento si su espesor es apreciable, en general, cuando es mayor de 7 cm.
- Base: es la capa destinada, fundamentalmente, a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito a las capas adyacentes y sobre la cual se coloca la capa de rodadura.
- Sub-base: es la capa destinada, fundamentalmente, a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas del tránsito, de tal manera que el suelo de sub-rasante los pueda soportar, absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo las cuales puedan afectar a la base; así mismo, servir de capa de drenaje al pavimento, controlar o eliminar, en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudicial que pudiera tener el material sub-rasante.

## 1.2. ASFALTO

El asfalto es un material bituminoso que varía en su consistencia de sólida a semisólida (sólida suave) en temperatura normal. Cuando se calienta lo suficiente se convierte en asfalto líquido y permite a los agregados mezclarse.

El asfalto está hecho, más que nada, de un hidrocarburo llamado betún, de ahí su nombre: bituminoso.

Todo el asfalto utilizado es producido por refinerías. El grado de control permitido por el equipo en las refinerías modernas permite la producción de asfalto con características específicas sujetas a diferentes aplicaciones. Como resultado, también los asfaltos son producidos para pavimentar techos y otros usos especiales.

El asfalto para pavimentar, comúnmente llamado Cemento asfáltico, es un material altamente viscoso (denso y espeso), pegajoso. Se adhiere fácilmente a los agregados. El Cemento asfáltico es un excelente material a prueba de agua y no es afectado por ninguno en su mayoría por ningún ácido.

El asfalto cambia cuando se calienta y/o envejece. Con el tiempo tiende a ponerse duro y quebradizo y a perder un poco de su habilidad para adherirse a los agregados. Estos cambios pueden reducirse, entendiendo las propiedades del asfalto y tomando ciertos pasos durante su construcción para asegurar que el acabado del pavimento sea construido de manera que retarde el proceso de envejecimiento.

### 1.2.1 RECURSOS Y NATURALEZA DEL ASFALTO

Debido a que el asfalto es usado para diferentes propósitos, a veces hay confusión respecto de su origen, cómo se refina? y cómo se clasifica en grados?. Hay una confusión similar acerca de los términos relacionados con las propiedades del asfalto y su uso. En esta sección se tratará de dar un enfoque más claro al respecto y así, tener más claros los conceptos fundamentales.

#### 1.2.1.1. Refinería del petróleo.

El petróleo crudo es refinado por destilación, un proceso en el que varias fracciones ( productos) son separados del crudo. La destilación es realizada subiendo la temperatura del petróleo crudo en etapas. Como se ve en la figura 1.1 diferentes fracciones separadas a diferentes temperaturas.

Las fracciones más delgadas o pequeñas son separadas por simple destilación. Los destiladores más densos, a menudo, se refieren como aceites, se pueden separar únicamente por una combinación de calentamiento aplicado al vacío. Como se indica en la figura 1.1, el asfalto puede ser producido por destilación al vacío en una temperatura de casi 900 °F (480°C). Esta temperatura puede variar un poco, dependiendo del petróleo crudo refinado o del grado de asfalto producido. La figura 1.2 es una ilustración esquemática de una típica refinería; muestra la fluidez del petróleo durante el proceso de refinería.

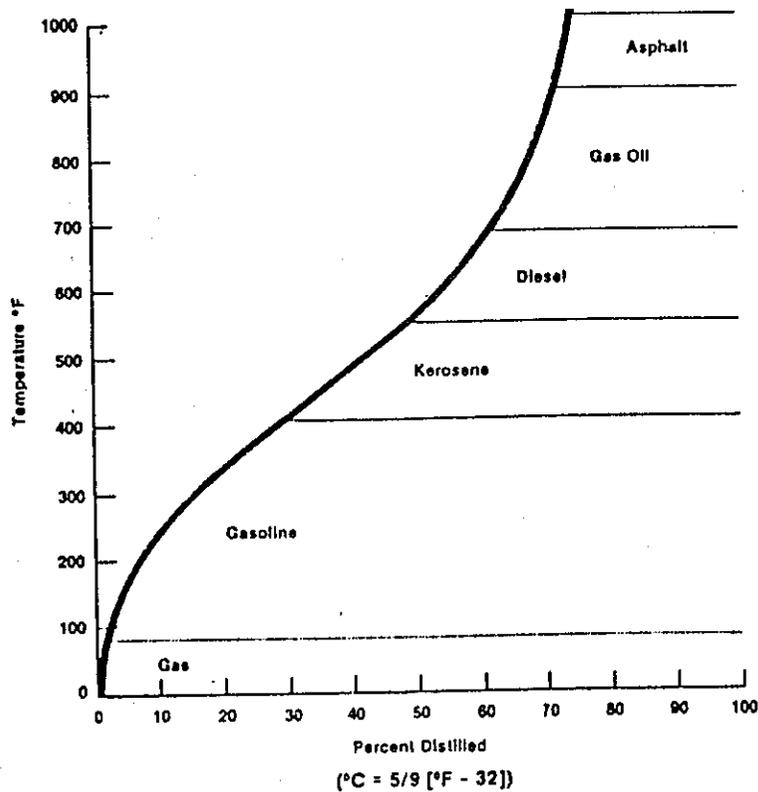


Figura 1.1 Destilación típica del crudo a diferentes temperaturas.

#### 1.2.1.2. Refinería del asfalto.

Diferentes tipos de asfalto son requeridos para diferentes aplicaciones. Para producir asfalto que cumpla con requerimientos específicos, las refinerías deben tener un mecanismo de controlar las propiedades de los asfaltos que producen. Se realiza, a menudo, mezclando el petróleo crudo de varios tipos antes de procesarlos. El mezclarse permite a la refinería cambiar crudos que contienen asfaltos de variadas características, de manera que el producto final tenga las características exactas requeridas por la persona que utiliza el asfalto.

Una vez que el petróleo crudo es mezclado, hay dos procesos por los cuales el asfalto puede ser producido: destilación al vacío y por extracción de los solventes. La destilación al vacío requiere el separar el asfalto del crudo, aplicando altas temperaturas al vacío. En el proceso de extracción de solventes, los aceites adicionales se remueven del crudo, dejando el asfalto restante.

# Pozo de Petróleo

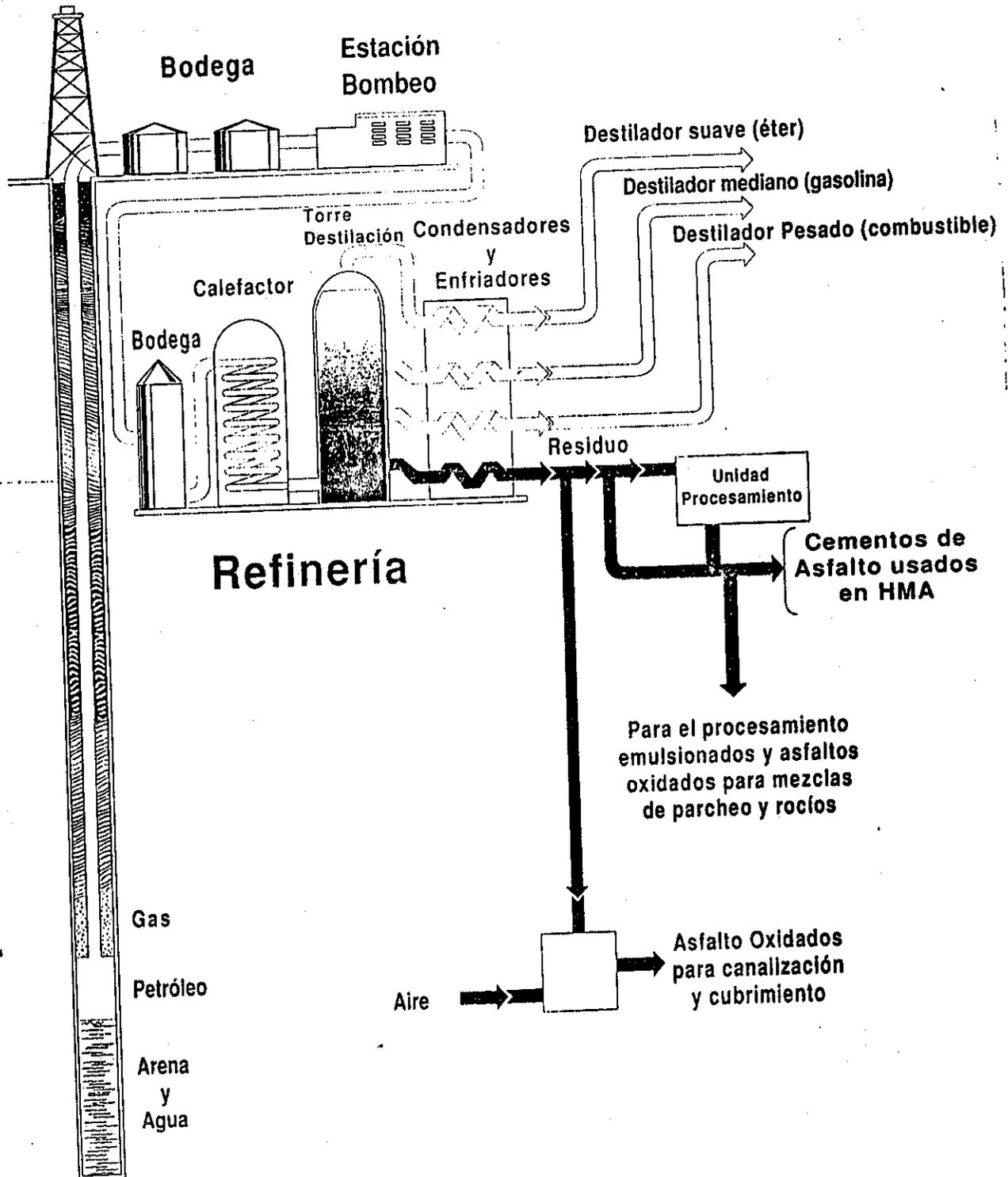


Figura 1.2 Proceso típico en una refinería

## 1.2.2. CLASIFICACIÓN, PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL ASFALTO

### 1.2.2.1. CLASIFICACIÓN Y GRADOS DEL ASFALTO

Se clasifican en tres tipos generales:

1. cemento asfáltico.
2. asfalto rebajado ( cutback asphalt ).
3. emulsiones asfálticas.

#### 1.2.2.1.1. Cemento asfáltico.

El cemento asfáltico, es un producto homogéneo y normalizado de color negro y consistencia sólida o semisólida a temperatura ambiente, compuesto por una mezcla de hidrocarburos obtenidos del proceso de destilación del petróleo. Para su utilización puede ser líquido mediante aplicación controlada de su temperatura. Se designa por las letras CA seguidas por dos cifras que indican límites de penetración de aguja en décimas de mm.

#### Características:

El cemento asfáltico, tal como lo indica su nombre, es un material cementante de gran versatilidad para su empleo en pavimentos debido a sus características que se pueden resumir en las siguientes:

- alta impermeabilidad, adherencia y cohesión, propiedades que le otorga a la mezcla asfáltica que se obtiene al mezclarlo con agregados de variada procedencia;
- posee consistencia y viscosidad controlada que permite la obtención de un pavimento estable a diferentes temperaturas y bajo la acción de distintas solicitudes de tránsito;
- otorga a las mezclas con agregados, características de flexibilidad que permiten a la estructura del pavimento adaptarse a deformaciones graduales sin agrietarse;
- proporciona a las mezclas con agregados, características resistentes ante la acción de cargas repetidas, otorgando el aporte estructural al pavimento.

De acuerdo con las diferentes aplicaciones del cemento-asfalto en pavimentos de carreteras, aeropuertos, calles, zonas de estacionamiento, pavimentos industriales, deportivos, carpetas de recubrimiento en obras hidráulicas y puentes, canales de riego, etc., se tienen distintos tipos según sea su uso en mezclas, riego o tratamientos.

En la tabla 1 se puede observar las diferentes especificaciones de el cemento asfáltico, dependiendo de su penetración.

1.b Datos técnicos.

De acuerdo con especificaciones de AASHTO M-20.

Tabla 1  
REQUISITOS PARA LA ESPECIFICACION DE UN CEMENTO ASFALTICO AASHTO M 20  
GRADO DE PENETRACION

|   | 40 - 50 |      | 60 - 70 |      | 85 - 100 |      | 120 - 150 |      | 200 - 300 |      |
|---|---------|------|---------|------|----------|------|-----------|------|-----------|------|
|   | MIN     | MAX. | MIN     | MAX. | MIN      | MAX. | MIN       | MAX. | MIN       | MAX. |
| Penetración a 25°C, 100 g, 5 seg                                  | 40      | 50   | 60      | 70   | 85       | 100  | 120       | 150  | 200       | 300  |
| Punto de inflamación copa abierta Cleveland °C.                   | 232     | 232  | 232     | 232  | 232      | 232  | 218       | 218  | 177       |      |
| Ductilidad a 25°C, 5 cm por min, cm                               | 100     | 100  | 100     | 100  | 100      | 100  | 100       | 100  | 99        |      |
| Solubilidad en Tricloroetileno, %                                 | 99      | 99   | 99      | 99   | 99       | 99   | 99        | 99   | 99        |      |
| Ensayo de película delgada, 3.2 mm, 163°C, 5 hrs.                 |         |      |         |      |          |      |           |      |           |      |
| Pérdida por calentamiento, %                                      |         | 0.8  |         | 0.8  |          | 1.0  |           | 1.3  |           | 1.5  |
| Penetración del residuo, % del original                           | 58      |      | 54      |      | 50       |      | 46        |      | 40        |      |
| Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm por min, cm.                  |         |      | 50      |      | 75       |      | 100       |      | 100       |      |
| Ensayo de la mancha (cuándo y cómo se especificue, ver nota) con: |         |      |         |      |          |      |           |      |           |      |
| Solvente Nafta Standard   |         |      |         |      |          |      |           |      |           |      |
| Solvente Nafta - Xilol, % Xilol                                   |         |      |         |      |          |      |           |      |           |      |
| Solvente Heptano - Xilol, % Xilol                                 |         |      |         |      |          |      |           |      |           |      |

Negativa para todos los grados  
Negativa para todos los grados  
Negativa para todos los grados

NOTA: El ensayo de la mancha es opcional. Cuando se especifica, el Ingeniero indicará qué solvente se usará en la determinación, y también en el caso de solventes Xiloles, el porcentaje de Xilol a usarse.

METODO DE MUESTREO Y ENSAYE

El muestreo y ensayo de cemento asfáltico estará de acuerdo a los siguientes métodos de AASHTO:

|                                |      |                            |       |
|--------------------------------|------|----------------------------|-------|
| Muestreo                       | T 40 | Ductilidad                 | T 51  |
| Agua                           | T 55 | Punto de inflamación       | T 48  |
| Penetración                    | T 49 | Ensayo de película delgada | T 179 |
| Solubilidad en Tricloroetileno | T 44 | Ensayo de la Mancha        | T 102 |

**Campo de aplicación.**

El uso del cemento asfáltico en pavimentos se presenta en tres áreas: mezclas asfálticas en caliente, tratamientos superficiales y sellos de fricción. Para este trabajo le se da importancia a las mezclas asfálticas en caliente.

**Campo de aplicación para las mezclas asfálticas en caliente.**

El nombre genérico deriva del sistema de fabricación que se realiza calentando los agregados y el asfalto en unidades especialmente diseñadas, que permiten la dosificación de cada componente en las cantidades indicadas por el proyectista de la mezcla.

La elección del tipo de CA adecuado para cada diseño está en relación directa con el clima y tránsito. De acuerdo con dichos parámetros, el tipo de cemento asfáltico a emplear se elegirá como se muestra en la tabla 1.4, que nos muestra los idferentes cementos asfálticos para aplicarse a diferentes temperaturas:

| Tránsito          | Clima Caluroso | Clima Templado | Clima Frio |
|-------------------|----------------|----------------|------------|
| Pesado            | 60/70          | 60/70          | 85/100     |
| Medio             | 60/70          | 60/70          | 120/150    |
| Ligero            | 60/70          | 85/100         | 120/150    |
| Aeropuertos       | 60/70          | 60/70          | 85/100     |
| Pav. Industriales | 40/50          | 40/50          | 60/70      |
| Pav. Deportivos   | 60/70          | 85/100         | 85/100     |

Tabla 1.4 para guía del el uso de Cementos ásfálticos

## Modo de empleo.

Temperatura de aplicación: la temperatura de aplicación de un CA depende directamente de su relación viscosidad-temperatura, graduación de los agregados y condiciones climáticas, lo cual determina los siguientes rangos normales de trabajo, según como se muestra en la tabla 1.5.

| Tipo de CA | Mezcla Densa °C | Mezcla Abierta °C | Tratamiento Superficial °C |
|------------|-----------------|-------------------|----------------------------|
| CA 40/50   | 150-170         | -----             | -----                      |
| CA 60/70   | 145-165         | 100-140           | -----                      |
| CA 85/100  | 140-160         | 90-130            | 140-170                    |
| CA 120/150 | 130-155         | 80-120            | 135-160                    |
| CA 200/300 | 100-145         | -----             | 120-150                    |

Tabla 1.5 Selección de la temperatura de aplicación

### Control de Temperatura de agregados y Almacenamiento

Deberá tenerse especial control sobre las temperaturas de los agregados que será la misma temperatura especificada para el cemento asfáltico, pero, cuyo comportamiento se ve normalmente afectado por variaciones en su humedad natural.

### Condiciones de almacenamiento.

- En el caso de suministro en tambores se recomienda el almacenamiento bajo techo.
- Los estanques para almacenamiento a granel en obra deberán encontrarse libres de materias extrañas, aislados térmicamente y con sistemas de calefacción adecuados, para proporcionar al cemento asfáltico la temperatura de trabajo. Se deberá evitar cualquier contaminación con el fluido térmico del sistema.
- El sistema de calentamiento deberá estar provisto de los termómetros y controles automáticos o manuales que permiten controlar, permanentemente, la temperatura del producto en los estanques. A modo de mantener las características del producto, se deberá evitar en todo momento, que éste sobrepase la temperatura de mezclado, asimismo, su calentamiento por períodos prolongados.

### Medidas de seguridad:

Los operadores deberán extremar precauciones para evitar salpicaduras del producto y el contacto con herramientas o superficies metálicas calientes.

Efectuar toda manipulación con equipo de seguridad el cual incluya, como mínimo, guantes largos resistentes al calor, zapatos de seguridad e indumentaria adecuada.

Ante la exposición permanente a vapores emanados del calentamiento se recomienda, además, el uso mascarillas proyectoras.

Para el caso de recepción del producto a granel, utilizar tuberías de descarga y evitar el uso de cualquier otro equipo en el cual el material se exponga.

Verificar el estancamiento de tuberías, acoples y estanques en forma periódica.

Disponer de extinguidores en cada unidad: recepción, bodega, mezclado y colocación.

Ante el eventual contacto del producto caliente con la piel, aplicar abundante agua fría; solicitar asistencia médica y mantener la zona afectada cubierta con un paño húmedo limpio sin remover el asfalto adherido, el cual actúa como capa protectora aséptica sobre el área afectada.

#### 1.2.2.1.2. Asfaltos cortados

Los asfaltos cortados están compuestos por una base de cemento asfáltico a la cual se incorporan solventes hidrocarbonados volátiles. Se obtiene de este modo un asfalto líquido con la viscosidad necesaria para poderlo mezclar y trabajar con agregados a temperatura ambiente y con el ahorro energético que significa calentar ligeramente el producto.

#### Características:

Una vez elaborada la mezcla de agregados con un asfalto cortado, los solventes se evaporan dejando sólo el residuo asfáltico que envuelve y cohesiona las partículas del agregado. Este comportamiento le otorga:

- el uso del producto con un leve calentamiento o a temperatura ambiente;
- no se requiere el calentamiento de los agregados para la elaboración de la mezcla;
- gran capacidad de cubrimiento con distintos tipos de agregado;
- estabilidad en el almacenamiento prolongado.

#### Campo de aplicación.

El uso de los asfaltos cortados cubre una variada gama de aplicaciones, dadas sus características de fácil aplicación en riegos, tratamientos y elaboración de mezclas:

- imprimaciones de bases granulares;
- mezclas asfálticas en frío en sitio;
- mezclas en frío en planta;
- sello negro;
- riego de liga;
- tratamientos superficiales;
- riegos matapolvo.

Datos técnicos.

De acuerdo con la velocidad de evaporación, del solvente (curado), los asfaltos cortados se clasifican con dos letras seguidas por un número que indica su grado de viscosidad cinemática, medida en centistokes:

ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS DE FRAGUADO RAPIDO (RC)

NUEVA NOMENCLATURA

Temperatura en grados Fahrenheit

| Características                                       | Ensayo AASHO | Ensayo ASTM | GRADOS        |                |                |
|---|--------------|-------------|---------------|----------------|----------------|
|   |              |             | RC-70<br>RC-1 | RC-250<br>RC-2 | RC-800<br>RC-3 |
| Viscosidad cinemática a 140°F                         |              | D 2170      | 70-140        | 250-500        | 800-1600       |
| Punto de Inflamación vaso abierto °F                  | T 79         | D 1310      |               | 80 +           | 80 +           |
| Destilación Destilado (% del total destilado a 680°F) |              |             |               |                |                |
| a 374°F   |              |             | 10 +          | 35 +           | 15 +           |
| " 437°F   | T 78         | D 402       | 50 +          | 60 +           | 45 +           |
| " 500°F   |              |             | 70 +          | 80 +           | 75 +           |
| " 600°F   |              |             | 85 +          |                |                |
| Residuos de la destilación a 680°F, % por volumen     |              |             | 55 +          | 65 +           | 75 +           |
| Ensayos sobre el residuo de destilación               |              |             |               |                |                |
| Penetración a 77°F, 100 gr. 5 seg.                    | T 49         | D 5         | 80-120        | 80-120         | 80-120         |
| Ductibilidad a 77°F                                   | T 51         | D 113       | 100 +         | 100 +          | 100 +          |
| Solubilidad en Tetracloruro de Carbono %              | T 442        | D 42        | 99.5 +        | 99.5 +         | 99.5 +         |
| Agua %  | T 55         | D 95        | 0.2-          | 0.2-           | 0.2-           |

ESPECIFICACIONES PARA ASFALTOS DE FRAGUADO MEDIO (MC)

(Nueva Nomenclatura)

Temperatura en grados centigrados

| Características                          | G R A D O S  |             |         |         |          |
|--|--------------|-------------|---------|---------|----------|
|  | Ensayo AASHO | Ensayo ASTM | MC-70   | MC-250  | MC-800   |
| Viscosidad cinemática a 60°C             | D 2170       | 30-60       | 70-140  | 250-500 | 800-1600 |
| Punto de Inflamación                     | T 79         | D 1310      | 37.7 +  | 65.6 +  | 65.6 +   |
| Vaso abierto °C                          |              |             | 37.7 +  | 65.6 +  | 65.6 +   |
| Destilación                              |              |             |         |         |          |
| Destilado                                |              |             |         |         |          |
| (% del total destilado a 360°C)          |              |             |         |         |          |
| a 190°C                                  |              |             | 25-     | 20-     | 0.10     |
| a 225°C                                  | T 78         | D 402       | 40-70   | 20-60   | 15-55    |
| a 260°C                                  |              |             | 75-93   | 65-90   | 60-87    |
| a 315.6°C                                |              |             |         |         | 35-      |
| Residuos de la destilación a 360°C       |              |             |         |         | 45-80    |
| % por volumen                            |              |             | 50 +    | 55 +    | 67 +     |
| Ensayos sobre el residuo de destilación  |              |             |         |         |          |
| Penetración a 25°C                       |              |             |         |         |          |
| 100 gr. 5 seg. en 0.01 cm.               | T 49         | D 5         | 120-250 | 120-250 | 120-250  |
| Ductibilidad a 25°C en cm.               | T 51         | D 113       | 100 +   | 100 +   | 100 +    |
| Solubilidad en tetracloruro de Carbono % | T 44         | D 4         | 99.5 +  | 99.5 +  | 99.5 +   |
| Agua %                                   | T 55         | D 95        | 0.2 -   | 0.2 -   | 0.2 -    |

El signo + indica el límite máximo

El signo - indica el límite mínimo

## Modo de empleo

Para las mezclas asfálticas las temperaturas adecuadas de aplicación del producto se muestran en la tabla 1.6 y dependerá del método de elaboración de la mezcla, ya sea en instalación de planta mezcladora, o bien, ejecutada en sitio.

La cantidad de asfalto cortado a aplicar dependerá del tipo de agregado y su graduación, tipo de mezcla diseñada y condiciones de aplicación, y será determinada por un laboratorio especializado.

| Tipo de asfalto<br>Cortado (RC o MC) | Mezcla en<br>planta °C | Mezcla en<br>sitio °C | Riego<br>°C |
|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------|
| 30 (solo MC)                         | -----                  | -----                 | + 40        |
| 70                                   | -----                  | -----                 | + 50        |
| 250                                  | 55 - 80                | + 30                  | + 75        |
| 800                                  | 75 - 100               | + 50                  | + 95        |
| 3000                                 | 80 - 115               | -----                 | + 110       |

Tabla 1.6 Selección de la temperatura de aplicación

Normalmente, se estará sobre el punto de inflamación del producto, razón por la cual deben extremarse las precauciones para evitar la presencia de fuego.

## Condiciones de almacenamiento

- Para el caso de suministros en tambores se recomienda su almacenamiento bajo techo a fin de evitar que el producto se encuentre sometido a altas temperaturas.
- Cuando el suministro es a granel, los estanques de recepción deberán encontrarse limpios, a fin de evitar la contaminación del producto.
- Deberán evitarse las altas temperaturas durante su almacenamiento, pues las mismas inutilizarán el producto en caso de producirse.
- Deberán procurar siempre que toda manipulación de estos asfaltos líquidos sea realizada al aire libre o en zonas muy ventiladas, a modo de evitar la inhalación de sus solventes.

## Precauciones de Seguridad.

1. Mantener lejos del fuego, fuentes caloríficas, chispas eléctricas y llamas piloto.
2. No fumar durante la manipulación y aplicación del producto.
3. Almacénese el producto en envases sellados, bajo techo en lugar fresco seco.
4. Cuando sea aplicado en espacios cerrados asegúrese una ventilación adecuada, si es necesario en forma mecánica, para evitar la acumulación de gases hasta que el producto haya secado.
5. En caso de fuego úsese polvo químico seco, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), espuma, arena o tierra. Nunca se use agua.

6. Los solventes que contiene el producto pueden causar, irritaciones a la piel. Se deberá evitar todo contacto usando guantes. En caso de que este se produzca se deberá lavar bien con agua y jabón y aplicar crema.
7. Para evitar contacto con los ojos deberá usarse protectores.
8. Al ser usado en recintos cerrados puede producir incomfortabilidad, en dicho caso traslade la persona al aire fresco.
9. Para evitar la ingestión oral no se deberá consumir alimentos en el área de trabajo.
10. En caso de derrame, el producto podrá recogerse con material inerte absorbente tal como arena.

#### 1.2.2.1.3. Emulsiones asfálticas.

Las emulsiones asfálticas son asfaltos líquidos compuestos por cemento asfáltico, agua y un agente emulgador. Dado que el cemento asfáltico y el agua son inmiscibles entre sí, para producir una emulsión es necesario dispersar el asfalto en pequeñísimos glóbulos e incorporar agentes químicos como emulsificantes para hacer estable el sistema.

El equilibrio físico-químico del sistema se mantiene debido a la película que se forma en la superficie de los glóbulos de asfalto, dándoles una carga eléctrica definida y haciendo que éstos se repelan entre sí.

Dependiendo de la carga eléctrica de los glóbulos de asfalto, la emulsión será aniónica (carga negativa) o catiónica (carga positiva).

#### Características.

Mediante el proceso indicado se obtienen asfaltos líquidos que pueden ser trabajados en frío o con un ligero calentamiento.

Al tomar contacto la emulsión con cualquier elemento de carga, contraria a la propia, se produce el fenómeno denominado "quiebre de la emulsión". En particular al entrar en contacto con agregado pétreo los glóbulos de asfalto se depositan en forma de película sobre la superficie del agregado, separándose el agua, lo cual se manifiesta por un cambio de colocación de café a negro. Finalmente, una vez que el agua ha drenado, se evapora completándose de este modo el proceso de curado, al cabo del cual queda sólo el cemento asfáltico actuando como ligante con todas sus cualidades.

Dentro de las ventajas de las emulsiones se podría mencionar: 1) fácil aplicación en frío o con ligero calentamiento, tanto para mezclas como para riegos, 2) no son inflamables ni peligrosas en su manipulación, 3) son el ligante óptimo para aplicaciones en climas húmedos, debido al ahorro energético por su uso en frío, 4) Son no contaminantes pues, no volatizan solventes a la atmósfera.

### 1.2.2.2. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO

El asfalto tiene propiedades químicas esenciales que lo hacen un material muy versátil. Los técnicos en asfaltos y diseñadores de pavimentos han aprendido a identificar y caracterizar estas propiedades y utilizarlas para una mejor ventaja en la estructura del pavimento. Una breve introducción a las propiedades más importantes ayudará a entender la naturaleza de los pavimentos con mezclas en caliente, llevándolos a un mejor control de calidad o a descubrir las limitantes que impiden una caracterización plena.

1. Actualmente, no hay un ensayo standard para la composición química de los asfaltos que sea mutuamente aceptable por los compradores, vendedores y consumidores del material.
2. Los ensayos existentes para analizar la composición química requieren de equipo sofisticado y experiencia técnica " no al alcance " en la mayoría de los laboratorios en donde las pruebas de asfalto se hacen.
3. La relación entre la composición química de un cemento asfáltico y su comportamiento en una estructura de pavimento aún es desconocida

Algunas discusiones sobre la composición química de los asfaltos ayudará al entendimiento de la naturaleza del material. Básicamente el asfalto está compuesto de varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbón) y trozos de sulfuro, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. Cuando son diluidos en solventes como heptano, el asfalto puede ser separado en dos grandes partes: asfaltos y materias.

### 1.2.2.3. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO

Las de mayor interés para el diseño, mantenimiento y construcción de una carretera son:

#### DURABILIDAD:

Es una medición respecto de la cual un asfalto retiene sus características originales cuando se exponen a los cambios de clima normal y procesos de rompimiento. Es una propiedad analizada por el comportamiento del pavimento y, después, difícilmente de definir en otros términos solo el asfalto. Esto se da porque la actuación del pavimento se ve afectada por el diseño de la mezcla, características agregadas a la construcción manual y otras variables, tanto como la durabilidad del asfalto. A pesar de esto hay una rutina de pruebas usadas para aproximar la durabilidad del asfalto; estas pruebas son de TFOT y RTFOT. Las dos se encuentran en el calentamiento de las partículas del asfalto.

## ADHESIÓN Y COHESIÓN:

Adhesión es la propiedad del asfalto de unirse con el agregado en la mezcla del pavimento.

Cohesión es la propiedad del asfalto para retener las partículas de agregado, firmemente, en el lugar del pavimento terminado. La prueba de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión, sino que examina una propiedad de asfalto, considerada, por algunos porque se relaciona con cohesión y adhesión. Consecuentemente, la prueba es de tipo experimental porque puede indicar únicamente si la muestra es suficientemente dúctil para alcanzar los requerimientos mínimos.

## SUSCEPTIBILIDAD DE TEMPERATURA.

Todos los asfaltos son termoplásticos, esto significa que se vuelven duros (más viscosos) cuando su temperatura baja y se tornan más suaves (menos viscosos) cuando su temperatura incrementa. Esta característica es conocida como susceptibilidad de la temperatura y es una de las características más valiosas del asfalto. La susceptibilidad de la temperatura varía entre los asfaltos, aunque sean de diferente origen y, sean de idéntico grado, esto quiere decir que dos asfaltos de diferentes procedencia aunque con igual grado de penetración pueden llegar a tener un mismo valor de viscosidad a una misma temperatura y a distintas temperaturas son totalmente diferentes. Esto es porque los dos asfaltos difieren en susceptibilidad de temperatura, lo mismo puede ser cierto, también, en los asfaltos de grado de viscosidad idéntica, pero, los derivados de diferentes recursos del petróleo crudo. En conclusión, se puede decir que los asfaltos derivados de diferentes recursos pueden tener diferentes susceptibilidades de temperatura, refiriéndose al sistema de grados utilizados.

## ENDURECIMIENTO Y AGRIETAMIENTO

El asfalto tiende a endurecerse en la mezcla de pavimento durante su construcción. En el propio pavimento, el endurecimiento es causado, principalmente, por oxidación (asfalto combinado con oxígeno) un proceso que ocurre a temperaturas altas y en capas de asfalto delgado. Durante la mezcla el asfalto está a una temperatura alta como en capas delgadas lo que puede provocar endurecimientos y agrietamientos.

## 1.3 ENSAYOS Y ESPECIFICACIONES DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

En este capítulo se describen, en términos, generales los ensayos de cemento asfáltico: viscosidad, penetración, punto de destello, envejecimiento y endurecimiento, ductibilidad solubilidad y gravedad específica.

### 1.3.1. ENSAYO DE VISCOSIDAD

La norma que rige el procedimiento de la AASHTO T-72. La viscosidad a 140°F (60°C) es la viscosidad usada para graduar el cemento asfáltico. Representa viscosidad de asfalto en una temperatura máxima al pavimento en servicio. La viscosidad a 275°F (135°C) aproxima la viscosidad del asfalto durante el mezclado y su colocación. Sabiendo la

consistencia de un asfalto particular a estas dos temperaturas, ayuda a determinar ya sea o no que el asfalto es apropiado para que el pavimento sea destinado. La prueba de viscosidad a 140°F (60°C) utiliza un tubo capilar llamado viscómetro, ver figura 1.7, el cual consiste en un tubo de vidrio calibrado que mide el flujo del asfalto. El viscómetro es montado a una temperatura controlada de baño de agua precalentada a 140°F (60°C). Un cemento asfáltico es calentada a la misma temperatura y es, entonces, fluido en una corriente dentro de un largo extremo del viscómetro.

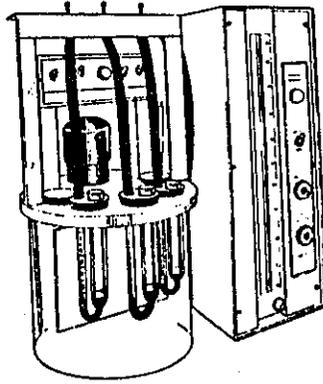


Figura 1.7 Tubo de capilaridad Viscosímetro

Debido a que el cemento asfáltico a 140°F es muy viscoso para fluir libremente a través del tubo capilar, un vacío parcial es aplicado al extremo pequeño del tubo para marcar el asfalto atravesado. Así como el asfalto empieza a fluir su progreso de una manera sobre el tubo al siguiente, es cronometrada cuidadosamente. Esta medida de tiempo es convertida fácilmente a poises, la unidad estándar de medida de viscosidad del asfalto

La prueba de viscosidad a 275°F es similar a la prueba descrita abajo; casi siempre, algunas adaptaciones son requeridas debido a la más alta temperatura. Primero, debido a que el agua hierve a 275°F, un aceite claro es usado para el baño de temperatura controlada. En segunda instancia, porque el cemento asfáltico a 275°F es fluido suficiente a través del tubo del viscosímetro sin asistencia de un vacío, un tipo de viscosímetro que puede ser usado sin que un vacío sea empleado. Es una tercera instancia, debido a gravedad y no al vacío, es usado para inducir flujo a través del tubo, la medida de viscosidad es convertida en centistocks en vez de poises.

### 1.3.3. ENSAYO DE PENETRACIÓN

La norma que rige este ensayo es la AASHTO T-49. la prueba de penetración es otra medida de consistencia. Es incluido en especificaciones de viscosidad, para asegurar que los cementos asfálticos con inapropiado valores de penetración, es decir a 77°F son identificados y no usados.

la prueba de penetración estándar consiste en llevar una muestra de cemento asfáltico a una temperatura de 77°F mediante una temperatura controlada de baño de agua. Una aguja de dimensiones prescritas bajo una carga de 100 gm. es llevada a soportar sobre la superficie del cemento asfáltico por exactamente, 5 seg. ver figura 1.8. La distancia que la aguja penetra dentro del cemento asfáltico es registrada en unidades de 0.1 mm. El número de unidades es llamado "penetración" de la muestra.

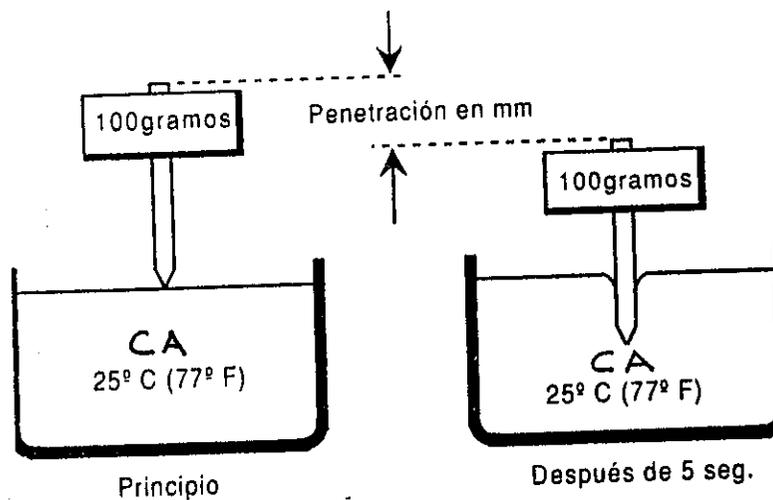


Figura 1.8 Prueba de penetración

### 1.3.3. ENSAYO PUNTO DE INFLAMACIÓN

La norma de la AASHTO es T- 48. Es aquel en el cual los materiales volátiles se encuentran concentrados lo suficiente que permitan la presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con punto de fuego, el cual es la más baja temperatura a la que el cemento asfáltico prende fuego y se quemará. Punto de inflamación envuelve solamente combustión de las fracciones volátiles separando el asfalto.

El punto de inflamación de un cemento asfáltico está determinado para identificar la máxima temperatura a la cual éste puede ser manipulado y guardado sin peligro.

El procedimiento básico para determinar el punto de inflamación es calentar, gradualmente, una muestra de cemento asfáltico en una taza de latón mientras se mantiene, periódicamente, una llama pequeña sobre la superficie de la muestra (ver figura 1.9) . La temperatura a la cual un instantáneo destello de vapores ocurre a través de la superficie es llevada a ser el punto de inflamación. La prueba de taza abierta de Cleveland es el procedimiento más común para determinar el punto de inflamación, casi siempre, la prueba de Penky-Martens es, algunas veces, usada. Ambos sirven para el mismo propósito.

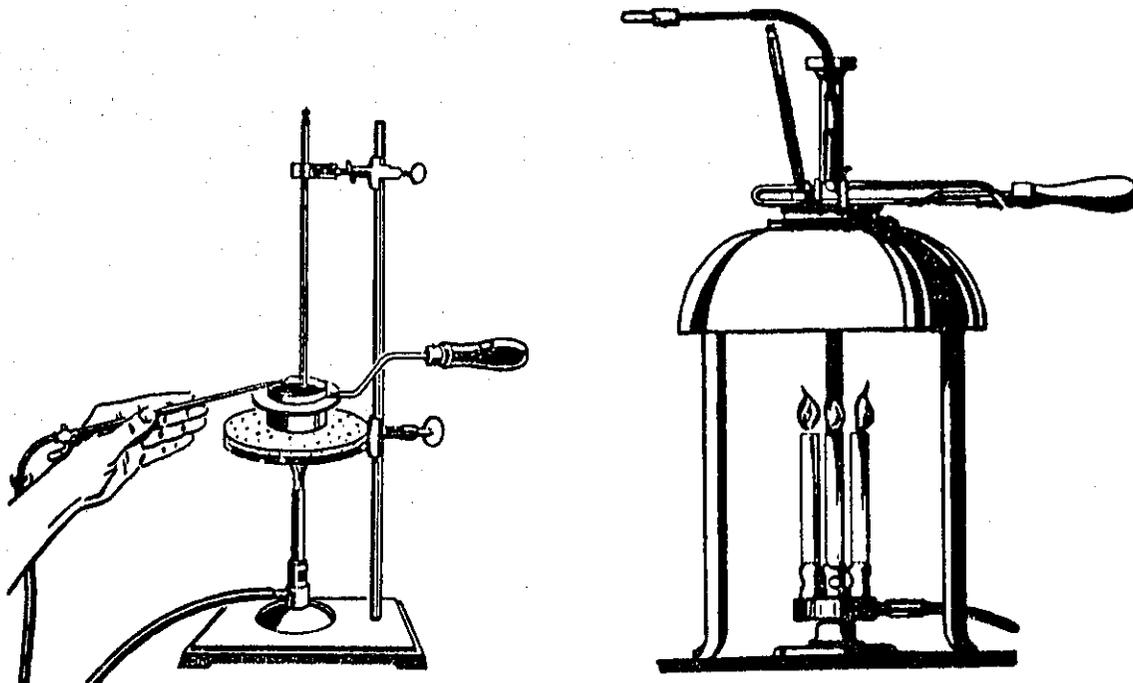


Figura 1.9 Prueba punto de inflamación  
(izquierda) taza abierta de Cleveland (derecha) Prueba Pensky-Martens

#### 1.3.4. ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA

La norma que rige los pasos de este ensayo es la AASHTO T-179. Esta prueba también es conocida como prueba de película delgada en horno (TFO) y prueba de enrollado de película delgada en horno (RTFO) las cuales no son pruebas verdaderas. Son procedimientos que exponen una muestra de asfalto para comparar condiciones a aquellas que ocurren durante las operaciones de planta mezcla-caliente. Viscosidad o pruebas de penetración hechas sobre la muestra después del procedimiento TFO o RTFO, son usados para medir el endurecimiento anticipado del material durante construcción y servicio de pavimento.

#### 1.3.5. ENSAYO DE DUCTILIDAD

La AASHTO T-51 norma este ensayo. Es una medida de la resistencia a la ruptura por alargamiento. Se mide en un aparato llamado ductilímetro en el cual una briqueta de dimensiones normalizadas se coloca dentro de un baño de agua a 25°C. La briqueta se sujeta con dos mordazas una de las cuales se mueve a una velocidad de 5 cm./min.. La elongación, en centímetros, a la cual se corta la muestra se define como ductilidad.

### 1.3.6. ENSAYO DE SOLUBILIDAD

La AASHTO T-44 determina los pasos para este ensayo. Es una medida de la pureza del CA. Permite determinar el contenido de materia inerte insoluble en solventes que disuelven el cemento asfáltico. Se disuelven 2 gramos de CA en 100 ml. de solvente y se filtra. Se determina la cantidad retenida en el filtro y se expresa como porcentaje en peso de la muestra original.

### 1.3.7. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

La AASHTO T-43 es la norma para este ensayo. Se entiende como gravedad específica de un material a la relación de su peso en aire a una temperatura dada al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, generalmente, a los 25°C y se expresa como:

gravedad específica 25/25°C

Además de dar una indicación de la calidad y origen del material, la gravedad específica es útil para determinar el peso por unidad de volumen de un asfalto calentado a la temperatura de aplicación.

La gravedad específica de un cemento asfáltico normalmente no se indica en las especificaciones de trabajo. Sabiendo la gravedad específica del cemento asfáltico, puede ser usada por dos razones:

- el asfalto se expande cuando se calienta y se contrae cuando se enfría. Esto significa que el volumen de una cantidad dada de cemento asfáltico será más grande a más alta temperatura que a bajas temperaturas. Medidas de gravedad específica proveen una medida para hacer correcciones de volumen de temperatura,
- gravedad específica del asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos (espacios en aire) en el pavimento compactado.

### 1.3.8. ENSAYO DE LA MANCHA

AASHTO T-102. Este ensayo permite determinar la relación entre los constituyentes del cemento asfáltico: asfaltenos y maltenos. De acuerdo con el ordenamiento molecular del asfalto, podrían existir sustancias insolubles en heptano. Se toman 2 gr. de CA y se prepara una mezcla de 10.2 ml de Xilol-Heptano en distintas proporciones. La mezcla se coloca en un baño de agua en ebullición hasta disolver totalmente el asfalto; luego, se deja reposar y, finalmente, se coloca a 32°C durante 15 min.. Se agita la mezcla con una varilla y se deja caer una gota sobre un papel filtro. Si la mancha presenta un núcleo oscuro el resultado es positivo, si la mancha es de color uniforme el resultado es negativo.

A medida que aumenta el % de Xilol del núcleo, desaparece; por lo tanto, se especifica un porcentaje máximo de Xilol.

## CAPITULO 2

### 2. AGREGADOS

Agregados son materiales muy comunes, los términos usados para describirlos son muchos y variados. Estos términos descriptivos están basados sobre fuente, tamaño, forma, tipo, uso y otras propiedades.

#### 2.1. ALGUNOS TÉRMINOS TÍPICOS

1. Agregado fino ( tamaños de arena): partículas de agregado, principalmente, entre 4.75 mm (tamiz No.4) y 75  $\mu$ m (Tamiz No.200) en tamaño.
2. Agregado ordinario (tamaño de grava): partículas de agregado, principalmente, más largas que 4.75mm (Tamiz No.4).
3. Grava triturada: grava de hoyo (o grava y arena) que ha sido puesta a través de un triturador para quebrar muchos de las partículas de grava redondeada a tamaño pequeño para producir superficies rugosas.
4. Roca triturada: agregado procedente de la molición de roca sólida. Todas las partículas son angulares, no redondeadas como la grava.
5. Arena de concreto: arena que ha sido lavada, usualmente, para remover polvo y linos.
6. Finos: cieno, barro o partículas de polvo más pequeñas que 75 $\mu$ m (Tamiz No.200) usualmente, impurezas no deseadas en agregados.

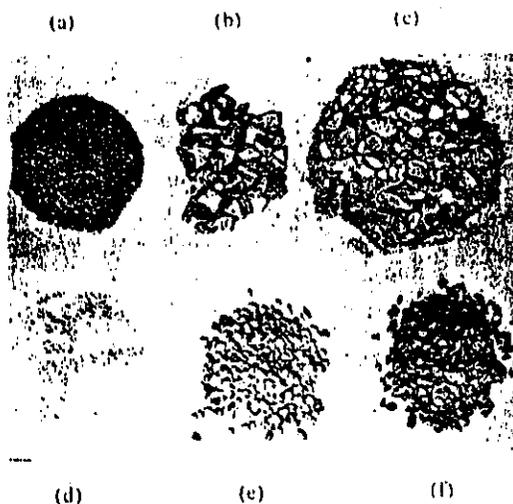


FIGURA 2.1 Agregados a)arena de concreto b)19mm (3/4 plg) roca clara molida (piedra de limo) c) grava molida (grava y arena); d) pantalla de protección; e) 9.5 mm (3/8 plg) grava clara; f) 9.5 mm (3/8 plg) molida clara (una roca dura ígnea llamada roca de trampa)

## 2.2. CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS

Los agregados para construcciones de carreteras se obtienen de Rocas naturales o escorias producidas en las industrias metalúrgicas.

Las rocas naturales se clasifican según su origen:

- Igneas,
- Sedimentarias,
- Metamórficas.

### ÍGNEAS.

Son rocas formadas por el enfriamiento del magma. Se clasifican según el tamaño de sus partículas, en gruesas (mayor de 2mm) medias (2 a 0.2mm) o finas (menor de 0.2mm) Y según su composición en ácidas (mas de 66% de sílice), básicas (55 a 66% de sílice). Las rocas ácidas se caracterizan por la presencia de cuarzo libre y peso específico inferior a 2.75. Las rocas básicas se caracterizan por la ausencia de cuarzo y su peso específico superior a 2.75.

### SEDIMENTARIAS.

Están formadas por el transporte (usualmente, por el agua) de los materiales granulares insolubles, que resultan de la desintegración de las rocas previamente existentes o por los restos inorgánicos de los animales marinos que se depositan en grandes cantidades en el fondo de los mares o raramente por la cristalización de minerales solubles en sus soluciones; estas se clasifican, según el mineral predominante en: calcáreas, silíceas o arcillosas.

### METAMÓRFICAS.

Las rocas metamórficas son rocas ígneas o sedimentarias que han estado sometidas a gran calor (metamorfismo térmico) o a gran presión y calor (metamorfismo regional), que han dado lugar a la formación de minerales y la aparición de texturas diferentes de la roca original.

## 2.3. ORIGEN DE AGREGADOS

Agregados para pavimentos asfálticos son, generalmente, clasificados de acuerdo con sus orígenes o fuentes. Ellos incluyen agregados naturales, agregados procesados y agregados sintéticos o artificiales.

### 2.3.1. AGREGADOS NATURALES

Agregados naturales son aquellos usados en forma natural, con poco o ningún procesamiento. Ellos están hechos de partículas producidas por erosión natural y proceso de

degradación, tal como la acción del viento, agua, movimiento de hielo. La forma de las partículas individuales es un largo resultado de los agentes actuantes sobre ellos.

Los dos mayores tipos de agregados naturales usados en la construcción de un pavimento son grava y arena. Grava es usualmente definido como partículas de 6.35mm o mas largas en tamaño. Arena esta definida como partículas más pequeñas de 6.35 mm. pero mas largas que 0.075mm (Tamiz No.200). Partículas más pequeñas que 0.075 mm son consideradas rellenos minerales hechos, primariamente, para cieno y arcilla.

Gravas y arenas son clasificadas por sus orígenes, de los cuales los podemos obtener de cantera y de bancos de materiales corrientes.

Depósitos de grava varían extensamente en composición, pero, usualmente, contienen alguna arena y cieno. Depósito de arena también obtienen ordinariamente alguna arcilla y cieno. Arenas de playa (algunas de las cuales están ahora muy adentro) están comprimidas de partículas de tamaño uniforme justo, mientras que la arena de río, a menudo, contiene más largas proporciones de grava, cieno y arcilla.

### 2.3.2. AGREGADOS PROCESADOS

Son agregados que han sido molidos para su uso. Hay dos fuentes básicas de agregados procesados, gravas naturales que son molidas para hacerlas más apropiadas para uso en mezclas y fragmentos de roca sólida que deben ser reducidas en tamaño antes que sean usadas para una mezcla.

La roca es molida por tres razones, para cambiar la textura de la superficie de las partículas, de suaves a rugosa, para cambiar forma de partícula de redonda a angular y para reducir y mejorar la distribución de tamaños de partículas. En el caso de fragmentos de roca sólida, el propósito primario de molido es reducir las rocas a tamaños trabajables. Cambios en textura de superficie y forma de partícula son también importantes, casi siempre.

Mantener las graduaciones específicas de los agregados es un elemento critico para producir pavimentos de alta calidad. Por razones de economía, casi siempre, el material triturado es, a menudo, usado como proviene de planta. Es esencial asegurar que la operación de triturado sea continuamente monitoreada y supervisada para producir agregados que satisfagan las especificaciones de graduación.

Triturando algunos tipos de rocas, se producen cantidades substanciales de partículas pequeñas.

### 2.3.3. AGREGADOS SINTÉTICOS

Agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto de químicos o procesamiento físico de materiales. Algunos son por productos de proceso industrial tales como refinería, otros son producidos, específicamente, para uso como agregado por procesamiento de materia prima.

Escoria de alto-horno es el agregado más comúnmente usado. Esto es una substancia no metálica proveniente del hierro fundido. Cuando se saca a la superficie, la escoria es reducida en partículas pequeñas, por apagamiento en agua y triturandola después que se ha enfriado.

Agregados manufacturados sintéticos, son relativamente nuevos en la industria del pavimento. Estos están manufacturados por arcilla incinerada, roca empaquetada de barro, tierra diatomeas procesada, vidrio volcánico, escoria y otros materiales. Los productos finales son típicamente de peso liviano y tienen usualmente alta resistencia para usarse. Agregados sintéticos han sido usados en cubiertas de puentes y cubiertas de piso pavimentado, también como capas de pavimento donde la resistencia al deslizamiento debe ser máxima.

### 2.4. PRODUCCIÓN DE AGREGADO, ALMACENAMIENTO, MANIPULEO Y MUESTREO

Cuando el banco de agregados usados en proyectos de pavimentos está localizado cerca de la planta, el Ingeniero podría tener alguna responsabilidad para monitorear el procesamiento del agregado.

#### 2.4.1. PRODUCCIÓN DEL AGREGADO

Cuando un Ingeniero esta envuelto con el monitoreo en producción del agregado, él debe volverse familiar con datos geológicos relacionados con el agregado y especificaciones que han sido establecidas para trabajar la explotación del banco.

En donde arena y grava están envueltas, hay que tener cuidado especial al ser removida la capa superficial y el material quemado (suelo que cubre el depósito) para así no contaminar el agregado. Esto es, particularmente, importante cuando la capa superficial contiene arcilla, vegetación u otro material que puede adversamente afectar el comportamiento del pavimento.

Es esencial que se evalúe completamente los agregados producidos después de triturarlos para determinar que estos reúnen la calidad y los requerimientos de graduación. En producción comercial en donde la trituración del agregado es más o menos continua, una o dos evaluaciones de calidad por día podrían ser satisfactorias. Cuando se inicia una operación de producción de agregados las evaluaciones deben ser hechas regularmente.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

#### **2.4.2. ALMACENAMIENTO DE AGREGADOS**

Buenos procedimientos de almacenamiento son indispensables, para una producción que requiere una máxima calidad en la mezcla de asfalto. Cuando se almacena, adecuadamente, los agregados estos retienen su propia graduación. Cuando se almacena pobremente, estos segregan partículas de agregado (separa por tamaño) y la graduación varía a diferentes niveles dentro de la pila. El Ingeniero debe estar enterado sobre la forma más apropiada de almacenamiento, y mejorar las que mantiene en la planta.

Antes de que los agregados sean entregados al sitio de la planta, el lugar de su alojamiento debe ser preparado, debe ser limpiado y tomar las precauciones necesarias, para mantener las pilas de reserva separadas para prevenir entremezclado que a menudo conduce a pérdida de graduación.

#### **2.4.3. MANIPULEO DE AGREGADOS**

Todo grado de manipuleo conduce a variaciones en la graduación de los materiales. Así, el manipuleo debe ser mantenido a un mínimo para prevenir degradación y segregación que podrían hacer el agregado no adecuado para su uso.

Necesariamente, el manipuleo incluye remover el agregado de pilas para el procesamiento de mezclado en la planta. No hay reglas establecidas para esta operación, pero, una guía general es usualmente aplicable. Usar un cargador frontal para remover material de una cara vertical cercana a la pila de reserva es una buena determinación, pero tener un tractor trabajando sobre el tope de la pila de reserva incrementa la probabilidad de una degradación seria.

#### **2.4.4. MUESTREO DE AGREGADOS**

Durante el proceso de producción, apilamiento de reserva y manipuleo de agregados, buenos procedimientos de control se requieren:

- asegurar que solo material satisfactorio es usado en la mezcla pavimentada y
- proveer un registro permanente como evidencia que el material reúne especificaciones de trabajo.

Obviamente, no es práctico probar todo el agregado que está siendo producido o que esta contenido en pilas de reserva. Es flexible solo probar las muestras de materiales las cuales sean representativas para que los resultados sean exactos y así poder determinar la calidad del agregado.

## **2.5. PROPIEDADES DE AGREGADOS Y EVALUACIÓN**

En un pavimento de mezcla asfáltica en caliente de grado denso, el agregado hace de un 90%-96% por peso de la mezcla del pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico del comportamiento del pavimento, además de la calidad de los agregados se debe tener en consideración el costo y la disponibilidad que son necesarios para la decisión sobre la selección de un buen agregado. Para que un agregado cumpla con los requerimientos de calidad debe tener:

- graduación y tamaño máximo de partícula,
- limpieza,
- rugosidad,
- forma de partícula,
- textura superficial,
- capacidad de absorción,
- afinidad para asfalto.

### **2.5.1. TAMAÑO MÁXIMO DE PARTÍCULA Y GRADACIÓN**

Toda especificación de mezcla asfáltica en caliente debe estar dentro de cierto rango de tamaños y proporción. Esta distribución de varios tamaños de agregado es llamado la graduación del agregado o graduación de mezcla. Para determinar la graduación de una mezcla se requiere un entendimiento de como se determina el tamaño de partícula y la combinación del mismo.

#### **2.5.1.1. Tamaño máximo de partícula**

En el diseño de mezcla asfáltica las especificaciones se señala un tamaño de máximo partícula, para cada agregado usado, el tamaño de las partículas de agregado en la muestra deben ser determinados. Hay dos designaciones para el tamaño máximo de partícula:

- tamaño máximo es designado como el tamiz más pequeño deatravez del cual el 100% de la muestra de partículas de agregado pasa y
- tamaño máximo nominal, es designado como el tamiz más grande, que retiene cualquiera de las partículas de agregado, pero, generalmente, no más que el 10% para el tamaño mas grande del agregado.

#### **2.5.1.2. Graduación de agregado**

La graduación de partícula está determinada por un tamiz o análisis de graduación de muestras de agregado. Partículas ordinarias son atrapadas en los más altos tamices; partículas de medio tamaño pasan a través de tamices de medio nivel; finos pasan a través de tamices más bajos.

La graduación de agregado o graduación de mezcla considera el porcentaje (por peso) de la muestra total que pasa a través de cada tamiz. Esto está determinado por el peso contenido en cada tamiz retenido según su análisis.

La Figura 2.2 ilustra cinco diferentes grados de concreto asfáltico y sus contenidos de agregado.

Para el propósito de descripción, ciertos términos son usados en referencia para fracciones de agregado. Estos son:

- agregado ordinario--material retenido por el Tamiz No.8;
- agregado fino-- material pasante del tamiz No.8;
- relleno mineral-- fracciones de agregado fino que pasan tamiz No.30;
- polvo mineral-- fracción de agregado fino pasante del tamiz No.200

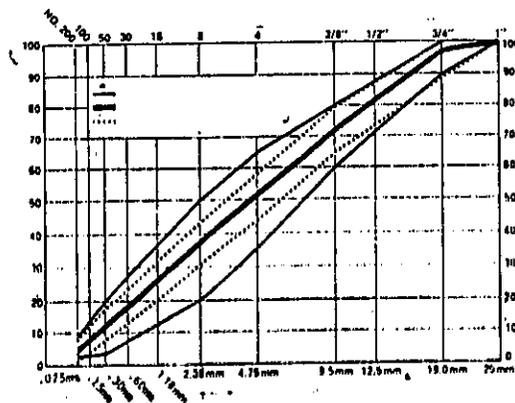
Relleno mineral y polvo mineral ocurren naturalmente o mecánicamente porque muchos agregados son producidos como un producto de triturado de muchos tipos de roca. Ellos son esenciales para la producción de una mezcla que es densa, cohesiva, durable y resistente a la penetración del agua, casi siempre, hay que dosificar adecuadamente el relleno mineral pues, cuando se tiene en pequeñas cantidades o se agrega bastante la mezcla aparenta a ser muy seca o excesivamente rica. Tales cambios en la mezcla pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad del relleno o polvo usado. Consecuentemente, el tipo y cantidad de relleno de polvo en cualquiera de la mezcla asfáltica deben ser controlada cuidadosamente.

Especificaciones de graduación de agregado para un trabajo dado pueden ser presentados, gráficamente como se muestra en la figura 2.3 que es una gráfica de graduación típica. Sobre la gráfica, el tamaño del tamiz se presenta horizontalmente y el porcentaje que pasa verticalmente. Las especificaciones para el trabajo particular son representadas por la región entre las líneas delgadas sólidas. La fórmula de mezcla, pavimentada está representada por la línea gruesa sólida. El control de trabajo de banco está representado por las líneas punteadas.

Números y tamaños de tamiz, usualmente, usados en gradación de agregado para mezclas asfálticas son mostrados en la figura 2.4, recomendados por el instituto de asfalto.

| Tamaño de tamiz  | Designación de mezcla y tamaño nominal de agregado |                   |                    |                    |                   |
|--|--|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
|  | 37.5 mm<br>1 1/2 plg.                              | 25.0 mm<br>1 plg. | 19.0mm<br>3/4 plg. | 12.5mm<br>1/2 plg. | 9.5mm<br>3/8 plg. |
| 50mm (2 plg.)  | 100  | -----             | -----              | -----              | -----             |
| 37.5mm (1 1/2 plg.)  | 90 - 100   | 100               | -----              | -----              | -----             |
| 25.0 mm (1 plg.)   | -----  | 90 - 100          | 100                | -----              | -----             |
| 19.0 mm (3/4 plg.)   | 56 - 80  | -----             | 90 - 100           | 100                | -----             |
| 12.5 mm (1/2 plg.)   | -----  | 56 - 80           | -----              | 90 - 100           | 100               |
| 9.5 mm (3/8 plg.)  | -----  | -----             | 56 - 80            | -----              | 90 - 100          |
| 4.75 mm (No.4)   | 23 - 53  | 29 - 59           | 35 - 65            | 44 - 74            | 55 - 85           |
| 2.36 mm (No.8)   | 15 - 41  | 19 - 45           | 23 - 49            | 28 - 58            | 32 - 67           |
| 1.18 mm.(No.16)  | -----  | -----             | -----              | -----              | -----             |
| 0.60 mm (No.30)  | -----  | -----             | -----              | -----              | -----             |
| 0.30 mm (No.50)  | 4 - 16   | 5 - 17            | 5 - 19             | 5 - 21             | 7 - 23            |
| 0.15 mm (No.100)   | -----  | -----             | -----              | -----              | -----             |
| 0.075 mm (No.200)  | 0 - 5  | 1 - 7             | 2 - 8              | 2 - 10             | 2 - 10            |
| Cemento Asfáltico<br>en porcentaje de la<br>mezcla en total. | 3 a 8  | 3 a 9             | 4 a 10             | 4 a 11             | 5 a 12            |

Figura 2.2 Composición típica del concreto asfáltico.



Gráfica 2.3 Gráfica de graduación de un agregado

| Agregado ordinario<br>Designacion de tamiz |                   | Agregado fino<br>Designación de tamiz |                   |
|--|-------------------|---------------------------------------|-------------------|
| Métricos                                   | Habituales<br>USA | Métricos                              | Habituales<br>USA |
| 63mm                                       | 2 1/2 plg         | 2.36 mm                               | No.8              |
| 50 mm                                      | 2 plg             | 1.18 mm                               | No.16             |
| 37.5 mm                                    | 1 ½ plg           | 0.60 mm                               | No.30             |
| 25.0 mm                                    | 1 plg             | 0.30 mm                               | No.50             |
| 19.0 mm                                    | ¾ plg             | 0.15 mm                               | No.100            |
| 12.5 mm                                    | ½ plg             | 0.075 mm                              | No.200            |
| 9.5 mm                                     | 3/8 plg           |                                       |                   |
| 4.75 mm                                    | No.4              |                                       |                   |

Figura 2.4 Tamaños típicos de tamiz

Los dos métodos para determinar la graduación de agregado son: análisis de tamiz seco y análisis de tamiz lavado. Análisis de tamiz seco es a menudo, adecuado utilizarlo para una graduación sólo de agregados ordinarios. Cuando las partículas de agregado son cubiertas con polvo o cieno-arcilla, casi siempre, un análisis de tamiz lavado debe ser hecho.

#### Análisis de tamiz seco.

- Muestra para análisis son reducidas para división mecánica o cuarteado.
- Materiales ordinarios y finos son separados usando el tamiz No.4
- Muestras son secadas a un peso constante.
- Muestras finas y ordinarias son tamizadas, separadamente.
- Peso de las fracciones retenidas en cada tamiz y en la malla del mismo son determinados.
- Un procedimiento para análisis de tamiz es contenido en AASHTO T-27

#### Análisis de tamiz lavado.

Muestras para pruebas de este tipo de análisis después de ser reducida, secadas y pesadas, entonces, son lavadas completamente para remover polvo y material arcilloso o cieno.

Después de lavado, las muestras son de nuevo secadas y pesadas. La diferencia entre el peso antes de lavado y el peso después de lavado determina la cantidad por peso de polvo y material de arcilla-cieno en la muestra original.

Un procedimiento para el análisis de tamiz lavado está contenido en AASHTO T-11.

### 2.5.2. LIMPIEZA

En especificaciones de trabajo, se coloca un límite sobre los tipos y cantidades de material no apropiado ( vegetación, barro, partículas suaves, bultos de cieno, etc.) permitido en el agregado. Cantidades excesivas de tales materiales pueden tener un efecto adverso sobre el comportamiento del material.

La limpieza del agregado puede ser determinada, a menudo, por inspección visual, pero, un análisis de tamiz lavado, en el cual el peso de una muestra del agregado antes de lavado es comparado a su peso después de lavado, da una medida correcta del porcentaje de material no apropiado.

### 2.5.3. RUGOSIDAD

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y degradación durante la manufactura, colocado y compactado de la mezcla y durante la vida de servicio del pavimento bajo cargas de tránsito actual. Agregados en o cerca de la superficie de pavimento deben estar más duros que agregados usados en las capas bajas de la estructura del pavimento. Es porque capas de pavimento más arriba, reciben la presión total.

La prueba de abrasión de los ángeles (AASHTO T-96) mide la resistencia de un agregado para soportar la abrasión. El equipo se muestra en la figura 2.5

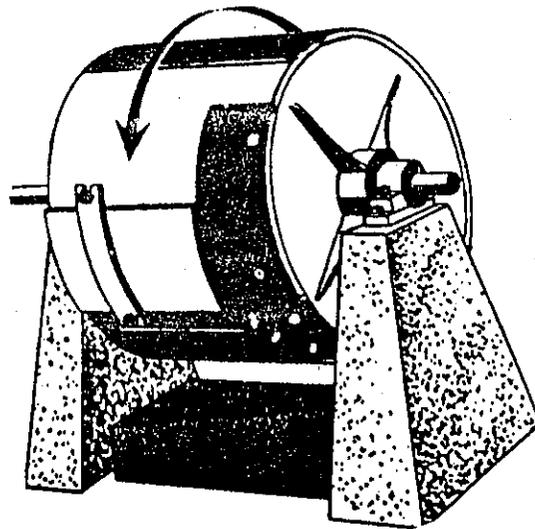


Figura 2.5 Máquina de abrasión de los ángeles.

#### **2.5.4. FORMA DE PARTÍCULA**

La forma de la partícula influye en la trabajabilidad de la mezcla de pavimento durante el colocado, también como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. Durante la vida del pavimento, las formas de las partículas también tiene influencia hacia la fuerza de la estructura del pavimento.

Partículas con irregularidades angulares tienden a compactarse mejor, usualmente estas resisten desplazamientos en el pavimento final. Mejor adherencia es generalmente obtenida con formas esquinadas y partículas de forma cúbica que son obtenidas por trituración de rocas. Casi siempre, las partículas redondas son usadas exitosamente en mezclas pavimentadas de asfalto de grado denso, teniendo cuidado en su colocado y compactado.

Muchas mezclas de pavimento contienen ambas, partículas angulares y redondeadas. Las partículas del agregado ordinario (largo) son usualmente piedra triturada o grava triturada que dá al pavimento fuerza. Las partículas finas de agregado son usualmente, una arena natural la cual dá a la mezcla la trabajabilidad necesaria.

#### **2.5.5. TEXTURA DE LA SUPERFICIE**

La textura de las partículas de agregados es otro factor que determina no sólo la trabajabilidad y fuerza final de una mezcla si no también, las características de resistencia a deslizamiento de la superficie pavimentada. Algunos lo consideran más importante que la forma de textura de la partícula. Una textura rugosa papel-arena incrementa la fuerza de pavimento porque evita el movimiento fácil al pasar una a otra y provee un coeficiente más alto de fricción de superficie sobre las caras fracturadas.

En adición, películas de asfalto se adhieren rápidamente a superficies rugosas que a superficies suaves. Debido a que gravas naturales usualmente tienen texturas de superficie suaves son a menudo, molidas para corregir su superficie.

No hay método estándar para evaluar la textura de superficie directamente. Como forma de partícula, es característico reflejarlo en prueba de fuerza y en trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

#### **2.5.6. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN**

Todos los agregados son porosos, algunos más que otros. Para determinar que tan poroso es un agregado, se satura de agua y se determina la cantidad de liquido que absorbe.

La capacidad de un agregado para absorber agua ( o asfalto) es información importante. Si un agregado es altamente absorbente, continuará absorbiendo asfalto después de el mezclado inicial en la planta, dejando menos asfalto sobre la superficie para enlazar una buena adherencia entre los otros agregados. Debido a esto, un agregado poroso requiere significativamente más asfalto para hacer una mezcla más apropiada que lo haría un agregado menos poroso.

Porosidad alta, son resultados de agregados altamente absorbentes que no son usados, normalmente, al menos que ellos posean otras características que los haga deseables, aun con su alta capacidad absorbente. Ejemplos de tales materiales son escoria de alto horno y otros agregados sintéticos manufacturados, los cuales son altamente porosos y resistentes a la abrasión.

### **2.5.7. AFINIDAD PARA ASFALTO**

Una afinidad del agregado para asfalto es su tendencia a aceptar y retener una capa de asfalto. Las piedras que tienen alta afinidad con el asfalto son llamadas Hidrofobias (repelan el agua) porque ellas resisten los esfuerzos de agua para despojar el asfalto de ellas.

Agregados hidrofílicos ( amantes al agua) tienen bajas afinidades para asfalto. Consecuentemente, ellos tienden a separarse de películas de asfalto cuando se exponen al agua. Agregados de silíceo ( cuarzo y otros granos) son ejemplos de agregados que son dispuestos a despojo y deben ser usados, cuidadosamente.

## **2.6 ENSAYOS DE AGREGADOS**

Los agregados minerales son usados en combinación con productos asfálticos para construir bases, capas intermedias, capas superiores y tratamientos de desgaste. Los agregados constituyen gran porcentaje de volumen total de la mezcla asfáltica, por eso sus propiedades tienen un efecto muy importante sobre las características de tales construcciones.

### **2.6.1. ENSAYO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS**

Los diferentes tipos y tamaños de agregados requieren que la muestra sea representativa para los varios ensayos a practicárseles. El material obtenido en terreno debe siempre ser mayor que la cantidad de la muestra requerida para el ensayo.

El material debe ser reducido en cantidad de acuerdo con el ensayo que se le va a practicar. Este método establece los procedimientos manual y mecánico para la reducción de muestra de suelo áridos y agregados en general. Los mejores resultados se obtienen usando un cuarteado metálico de un tamaño adecuado.

**Procedimiento con cuarteado metálico o mecánico.**

A continuación se describe un método para reducir a muestras menores a 100 kg. mediante un cuarteador metálico.

1. Colocar la muestra en uno de los recipientes del cuarteador.
2. Vaciar la muestra en el cuarteador.
3. Separar el material correspondiente a uno de los recipientes.
4. Repetir el procedimiento con el material del recipiente restante hasta obtener la cantidad de la muestra deseada.

## 2.6.2. ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El porcentaje de los distintos tamaños de partículas de un agregado mineral se determina tamizando un peso conocido del agregado sobre un juego seleccionado de Tamices. Cada porción que pasa por un determinado tamiz y es retenida por el inmediato más pequeño o la porción total retenida en cada tamaño dado, es pesada y su porcentaje en peso referido al total. Los fragmentos de un diámetro inferior a 0.63 cm. (1/4") se ensayan con tamices de mallas de alambre y aberturas cuadradas. Su nomenclatura está de acuerdo con el número de mallas que tengan por pulgada lineal, habiéndose estandarizado el diámetro del alambre y abertura de tamiz.

Distribución de la diferentes partículas.

De la distribución de las diferentes partículas que componen un suelo, tales como piedras, gravas, arenas, limos y arcillas, depende el mayor o menor volumen de vacíos del suelo. El procedimiento para determinar los diferentes porcentajes de material granular y fino que contiene un suelo se denomina " Análisis granulométrico ". El análisis, generalmente, se hace en dos etapas:

- la primera, se realiza por medio de una serie de tamices convencionales para suelos de granos grandes y medianos o suelos granulares como: piedra triturada, grava, arena,
- la segunda, por medio de un proceso de vía húmeda para suelos finos, como limos, limos-arenosos, limos-arcillosos y arcillas. Este análisis mecánico vía húmeda se basa en el comportamiento.

El análisis por tamizado se realiza conforme se presenten las características de los materiales finos de la muestra; este análisis se hace con la muestra entera o con parte de ella, después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en una estufa pequeña la parte húmeda del material y luego, se examina su resistencia en seco, rompiéndola entre los dedos. Si se rompe fácilmente y el material fino se pulveriza bajo presión de los dedos, el análisis se puede efectuar sin previo lavado.

### 2.6.2.1. Ensayo de granulométrico por vía seca de agregados gruesos y finos.

( AASHTO T-27 )

Equipo.

- balanza,
- brocha,
- horno de temperatura constante,
- juego de tamices,
- vibrador mecánico de tamices

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

### Preparación de la muestra.

1. La muestra debe ser representativa, lo cual se puede obtener por cuarteo.
2. El peso de la muestra de agregado fino que se usa en el ensayo deberá ser de unos 500 grs.
3. El peso de la muestra del agregado grueso que se usa en el ensayo deberá estar de acuerdo con el siguiente cuadro.

| Tamaño máximo de las partículas en pulgadas | Peso mínimo de la muestra en gramos |
|---|-------------------------------------|
| 3/8"  | 1000                                |
| 1/2"  | 2500                                |
| 3/4"  | 5000                                |
| 1"  | 10000                               |
| 1 1/2"                                      | 15000                               |
| 2"  | 20000                               |
| 2 1/2"                                      | 25000                               |
| 3"  | 30000                               |
| 3 1/2"                                      | 35000                               |

4. Si se trata de mezclas de grava y arena se deberá separar usando en tamiz No.4 y analizar las partes separadamente.
5. Para determinar la cantidad de material fino (que pasa tamiz No. 200) se hace el siguiente ensayo de la cantidad que pasa por el tamiz No. 200.

#### 5.1 Determinación de La cantidad de material que pasa el tamiz No.200 ( AASHTO T-11)

##### 5.1.1. Equipo:

- tamices No. 16 y No.200,
- recipiente para sumergir la muestra,
- horno a temperatura constante (105 °C).

##### 5.1.2. Preparación de la muestra

La muestra se obtiene de un material húmedo con el fin de evitar la segregación de partículas.

##### 5.1.3. Procedimiento:

- Se saca la muestra en el horno, luego, se seca y se pesa con una aproximación de 0.02%.
- Se coloca la muestra en el recipiente y se cubre con agua; luego, se agita el recipiente con el fin de separar las partículas finas (que pasan el tamiz No. 200). Inmediatamente, después de vaciada el agua usada para el lavado de los tamices, tratando de evitar la decantación de las partículas gruesas. Esta operación se repite hasta que el agua que se usa para el lavado de la muestra salga completamente clara (sin partículas finas en suspensión).

- Todo el material retenido en el tamiz No.200 y tamiz No.16 se devuelve a la muestra original, después de esto se pone a secar la muestra dentro del horno.

#### 5.1.4. Calculo:

El porcentaje de material más fino que el tamiz No. 200 se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Material pasa} = \frac{\text{Peso original} - \text{Peso después de lavado}}{\text{Peso original}} * 100$$

Tamiz No.200

#### Procedimiento:

1. Se agita todo el juego de mallas, horizontalmente, con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado depende de la cantidad de finos en la muestra, pero, por lo general, no debe ser menor de 15 minutos.
2. Para el agitado de las mallas es muy conveniente el uso del aparato de agitado "Ro-Tap".
3. Se quita la tapa y se separa la malla No. 4 vaciando la fracción del suelo que ha sido retenida en ella sobre un recipiente limpio. A las partículas que han quedado trancadas entre los hilos de la malla no hay que forzarlas a pasar a través de ella; inviértasele el tamiz y con ayuda de una brocha o cepillo de alambre despréndase y agregeselas a las depositadas en el recipiente y se pesa.
4. Se hacen las pesadas de las fracciones retenidas en cada malla y en la charola del fondo, procediendo en la forma indicada. Todos los pesos retenidos se anotan en la hoja de registro.

#### Calculo:

Se expresan los pesos del material retenido en cada tamiz como porcentaje total.

### 2.6.3. ENSAYO DE GRADUACIÓN DEL RELLENO MINERAL ( AASHTO T -37 )

#### Equipo.

-Se usa el mismo equipo del ensayo anterior.

#### Preparación de la muestra.

La muestra consistirá en ± 50gr. de material y deberá ser representativa, lo cual puede lograrse por cuarteo. Una vez obtenida deberá secarse en un horno a temperatura constante (105°C).

#### Procedimiento.

Se agita todo el juego de mallas, horizontalmente, con movimientos de rotación y, verticalmente, con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado depende de la cantidad de finos en la muestra, pero por lo general, no debe ser menor de 15 minutos.

Para el agitado de las mallas es muy conveniente el uso del aparato especial de agitado " Ro-Tap".

Se quita la tapa y se separa la malla No. 4 vaciando la fracción de suelo que ha sido retenido en ella sobre un recipiente limpio. A las partículas que han quedado retenidas entre los hilos de la malla no hay que forzarlos a pasar a través de ella. Inviértase el tamiz y con ayuda de una brocha o un cepillo de alambre, despréndase y agréguese a las depositadas en el recipiente.

Se pesa, cuidadosamente, la fracción de la muestra obtenida en el paso 2. Se guarda esta fracción de muestra hasta el final de la prueba para poder repetir las pesadas en caso de error. Se hacen las pesadas de las fracciones retenidas en cada malla y en el tamiz del fondo, procediendo en forma indicada. Todos los pesos retenidos se anotan en el registro del cálculo.

Calculo.

Los pesos de este material retenido en cada tamiz deben ser expresados como porcentajes en peso de la muestra.

#### **2.6.4. ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DESGASTE DEL AGREGADO POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES.**

( AASHTO T-96 )

Normas y generalidades:

El porcentaje de desgaste de la piedra triturada se determina sometiendo 5 kilogramos de piedra compuesta de, aproximadamente, 50 trozos de tamaño uniforme, al desgaste, dentro de un cilindro de hierro giratorio conocido como máquina de Deval. Este cilindro está montado según el ángulo en forma que revuelve los fragmentos de piedra y los vuelca unos sobre otros, de un extremo a otro cilindro. Después de 10,000 vueltas, se registra el peso del material desgastado que pasa el tamiz No.12, es expresado como coeficiente francés de desgaste, que puede ser obtenido dividiendo el 40% de desgaste. En esta forma, un porcentaje de desgaste de 5 es lo mismo que un coeficiente francés de 8. Se vislumbra que el ensayo de Deval ha de ser suplantado pronto por el ensayo de desgaste "Máquina de Los Ángeles", que se adapta mejor para la determinación de las características de resistencia al desgaste de agregados minerales, porque las probetas de ensayo tienen mayor similitud con los tamaños de los agregados que se emplean en la práctica. La máquina consiste en un tambor cilíndrico montado, longitudinalmente, sobre un eje horizontal y que tiene un saliente de un ancho de 10 cm. que se extiende de extremo a extremo en el interior. Se carga el tambor con 5 kilogramos de agregado. Una resistencia al desgaste relativamente elevada es una característica muy conveniente para piedra triturada que haya de usarse en construcciones asfálticas, siendo muy esencial para ciertos tipos de construcción, particularmente, en capas superiores. Es necesario conocer la forma en que se efectúa el análisis de la "Máquina de Los Ángeles".

Equipo.

- maquina de los ángeles,
- juego de tamices de aberturas cuadradas,
- horno (105°C),
- balanza de 5 Kg.

las cargas de la Máquina de Los Ángeles deberán ser esféricas de 1 7/8" de diámetro y de un peso que pueda variar entre 390 y 445 gramos.

| Gradación | Número de esferas | Peso total en gramos. |
|-----------|-------------------|-----------------------|
| A         | 12                | 5000 ± 25             |
| B         | 11                | 4584 ± 25             |
| C         | 8                 | 3330 ± 20             |
| D         | 6                 | 2500 ± 15             |

#### Preparación de la muestra.

La muestra debe consistir en 5.0 kilogramos, el cual debe estar libre de impurezas y haber sido secado en el horno. La muestra que se use debe estar de acuerdo con una de las gradaciones dadas en el cuadro que se presenta a continuación:

| Pasa el tamiz | Retenido tamiz | Graduación A | Graduación B | Graduación C | Graduación D |
|---------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 1/2"        | 1"             | 1250         |              |              |              |
| 1"            | 3/4"           | 1250         |              |              |              |
| 3/4"          | 1/2"           | 1250         | 2500         |              |              |
| 1/2"          | 3/8"           | 1250         | 2500         |              |              |
| 3/8"          | No.3           |              |              | 2500         |              |
| No.3          | No.4           |              |              | 2500         | 2500         |
| No.4          | No.8           |              |              |              | 2500         |

#### Procedimiento.

Se coloca la muestra preparada como se indica anteriormente, junto con la carga en la máquina de los ángeles. Se pone a funcionar la máquina a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto. Al cabo de las 500 revoluciones se saca la muestra de la máquina y se pasa a través del tamiz No.12. El material retenido en el tamiz No.12 se debe lavar, secar en el horno y pesar con la aproximación de un gramo.

#### Calculo.

La diferencia entre el peso original y el peso final de la muestra ensayada expresada como un porcentaje del peso inicial es el llamado "Porcentaje de desgaste"

$$\text{Desgaste (\%)} = \frac{\text{Peso original} - \text{Peso retenido tamiz No.12}}{\text{Peso original}} * 100$$

## 2.6.5. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO.

( AASHTO T - 85 )

### Generalidades.

El objetivo principal de este ensayo es determinar la gravedad específica aparente y, así mismo, la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en el agua por un período de 24 hrs.

### Equipo.

- Balanza,
- Un recipiente en el cual se puede sumergir los agregados.

### Preparación de la muestra.

La muestra consiste en 5 kg. de material más o menos; debe ser tal que todas las partículas sean retenidas en el tamiz 3/8".

### Procedimiento.

1. Se lava el material a fin de remover el polvo o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas, luego se sumerge la muestra en agua por un período de 24 hrs.
2. Se saca la muestra del agua y se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua halla desaparecido de la superficie. Se deberá evitar la evaporación durante esta operación.
3. Se obtiene el peso de la muestra con sus partículas saturadas.
4. La muestra se vuelve a sumergir después de ser pesada y se determina el peso de la muestra así sumergida.
5. Se seca la muestra en un horno a temperatura constante de 105°C y luego, se deja enfriar y se pesa.

### Calculo.

1) Gravedad específica =  $A/(B-C)$

donde:

A= Peso de la muestra secado en el horno, en grs.

B= Peso de la muestra saturada, pero, con superficie seca, en grs.

C= Peso de la muestra saturada dentro del agua, en grs.

2) % de absorción =  $(B-A)/A * 100$

**2.6.6. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE LOS  
AGREGADOS FINOS  
( AASHTO T- 88 )**

**Generalidades.**

El objetivo de este ensayo es determinar la gravedad específica, así mismo, la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 hrs. expresadas por un porcentaje en peso.

**Equipo.**

- Balanza,
- Matraz de 500 ml. de capacidad,
- Molde cónico y una varilla.

**Preparación de la muestra.**

Se selecciona una muestra de 1 kg. que es obtenida por cuarteo; luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja por un periodo de 24 hrs.

**Procedimiento.**

Se saca la muestra del recipiente y se seca de una manera uniforme.

Con el fin de inspeccionar qué tan seca está la muestra, se coloca, primero, en el molde cónico y luego, se retira éste. Si la muestra tiene todavía alguna humedad en la superficie se conservara la forma cónica y si, por lo contrario, la humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena rodará libremente cuando se levante el cono.

Por lo general, si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca en el cono, esto es indicación de que la muestra ha sido secada más de la cuenta y que ha perdido su condición de saturada; por lo consiguiente, se deberá rociar con agua y se dejará reposar 30 minutos antes de volver a colocar el cono.

Se colocan 500 grs. de la muestra en el matraz y luego se llena éste con agua hasta el tope . Con el fin de eliminar las burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego, se coloca en un baño a una temperatura de 20 °C. Se llena de nuevo el matraz hasta el tope y se mide la temperatura; en caso de que no sea 20°C se deberá hacer correcciones del caso siguiendo la curva de calibración.

Luego, se obtiene el peso del matraz lleno.

Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante (105°C).

**Cálculos.**

1) Gravedad específica =  $500/(V-W)$

V= Volumen del matraz en ml.

W= Peso en gramos de agua más el matraz.

A= Peso de la muestra secada en el horno.

2) Porcentaje de absorción =  $\frac{500 - A}{A} * 100$

## 2.6.7. ENSAYO DE PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS ( AASHTO T- 19 )

### Generalidades.

El peso unitario de los agregados se determina pesando una muestra apisonada de material, secada al aire, dentro de un recipiente cilíndrico estándar hasta su envase. En el ensayo estándar las dimensiones y capacidad cúbica del recipiente usado varía en cierta extensión de acuerdo con el diámetro máximo de las partículas minerales, pero, todos los resultados se calculan como peso por metro cúbico para trabajos asfálticos en caminos; este ensayo se limita por lo general a escoria triturada, el que se toma en lugar de la prueba de desgaste. La razón de esto es que una escoria de elevada resistencia al desgaste, puede contener una pequeña porción de fragmentos muy blandos que se convierten con facilidad en polvo y dan un valor erróneo al porcentaje de desgaste, comparado con la roca, que es más uniforme. El peso elevado por metro cúbico para una escoria triturada comercial, es la mejor indicación de su resistencia al desgaste.

### Equipo.

- Balanza
- Una varilla de 5/8" de diámetro y unos 60 cm de longitud.
- Un juego de recipientes cilíndricos.
- Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo de 1.2: o menor, se usa un molde de 1/10 de pie cúbico.
- Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo comprendido entre 1/2" y 1 1/2" se usa el molde de 1/2 pie cúbico.
- Para agregados cuyas partículas tengan un diámetro máximo mayor de 1 1/2" se usa el molde de 1 pie cúbico.

### Preparación.

Se usa una muestra representativa del agregado de la humedad ambiente. Por ningún motivo debe secarse dicha muestra en el horno.

### Procedimiento.

1. Se llena el molde hasta la tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego, por medio de la varilla se apisona, uniformemente, esta capa, 25 veces. No debe golpear el fondo del molde.
2. Se repite el procedimiento anterior dos veces más hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie de deben enrasar con la varilla teniendo como guía el borde del molde.
3. Se pesa el molde junto con el agregado.

### Cálculo.

$$P.U. = \frac{\text{Peso material}}{\text{Vol. matraz}}$$

P.U. = Peso unitario  
G.E. = Gravedad específica.

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{(G.E. * 1000) - P.U. * 100}{(G.E. * 1000)}$$

## 2.6.8. ENSAYO DE INMERSIÓN ESTÁTICA (STRIPPING) ( AASHTO T - 182 )

### Generalidades.

Este método describe el cubrimiento y el procedimiento de inmersión estática a fin de determinar la adherencia del par bitumen agregado en presencia de agua. El procedimiento se aplica a materiales bituminosos cortados, semisólidos y emulsiones asfálticas.

### Preparación.

Los agregados usados deben pasar el tamiz 3/8" y retenido 1/4". Ellos deben lavarse en agua destilada para remover todos los finos y secado de 275-300°F., a peso constante y guardando en recipientes herméticos hasta que sean requeridos para usarlos.

### Procedimiento.

El ensayo con bitumen semisolido se hace únicamente con agregados secos. Se lavan 100 grs. de agregado y se seca. Los tarros con el agregado se colocan al horno con temperatura constante de 275-300°F., hasta que el agregado y el tarro están a esa temperatura. Cuando el agregado ha sido calentado, suficientemente, el cemento asfáltico debe ser calentado, separadamente, a la misma temperatura. El tarro y el agregado están sobre la balanza en una hoja de papel de asbesto u otro material aislante que retarde el enfriamiento del agregado y se le agrega 5.5% del bitumen calentado.

El agregado y el bitumen son mezclados, vigorosamente, con una espátula cuya hoja ha sido previamente calentada. La mezcla se efectúa con la temperatura de los ingredientes cuando permitan gotear natural y continuamente 2 o 3 minutos hasta que cubra, perfectamente, la superficie del agregado. Si no se puede conseguir la cobertura completa del agregado de la manera descrita, la mezcla en el tarro debe ser suavemente calentada en un disco eléctrico y se continúa el mezclado hasta que esté completamente cubierto. Después de que ha sido, satisfactoriamente, la mezcla agregado-bitumen se deja que se ponga a la temperatura ambiente y entonces, sin otra operación nueva, se sujeta al ensayo de inmersión al agua descrita a continuación.

### Inmersión de agua.

El agregado preparado descrito en la sección anterior debe colocarse en un frasco de vidrio de 600 ml. y cubrirlo, inmediatamente, con 600 ml., de agua destilada a la temperatura ambiente. El agregado cubierto debe permanecer sumergido de 16 a 18 hrs. (durante la noche) a la temperatura ambiente.

### Cálculo.

Después de completar el periodo de inmersión en agua, la retención de la película de bitumen por el agregado se determina, visualmente, como sigue: con muy pocos movimientos y tratando de no agitar cuando el espécimen se mantiene sumergido en el agua el % del área del agregado que se mantiene cubierta debe estimarse como arriba o abajo de 75%. Se recomienda que la inspección sea hecha mientras el espécimen es iluminado con una lámpara de 75 vatios.

## CAPITULO 3

### 3. DISEÑO DE MEZCLA

#### 3.1 Recomendacion.

Cuanto más se comprenda sobre las mezclas asfálticas, será más fácil construir pavimentos de alta calidad. Todo pavimento asfáltico está constituido por: agregados y cemento asfáltico.

Las partículas de agregado en una mezcla asfáltica debidamente compactadas deben absorber las cargas del tráfico. La carga es transmitida a través del pavimento por las pequeñas áreas de contacto entre las partículas de agregado. De la fricción en estas áreas depende mucho la estabilidad del pavimento. Los agregados fracturados y triturados o los de superficie rugosa, desarrollan esta fricción mejor que los de canto rodado o superficie redondeada.

Las mezclas de agregado de bajo contenido de vacíos o de granulometría cerrada son los tipos más comunes de mezclas. Están compuestas de partículas de agregado que varían uniformemente de tamaño, de grueso a fino.

En una mezcla en caliente de pavimento, el asfalto y los agregados son mezclados juntos en proporciones precisas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y finalmente, cómo actuará la mezcla como un pavimento terminado. Hay dos diseños utilizados, comúnmente, para determinar proporciones adecuadas de asfalto y agregado en la mezcla. Estos son el Método Marshall y el Método Hveem.

Ambos métodos de diseño son ampliamente usados para el diseño de mezclas-caliente de pavimento. La selección y uso de ambos métodos de diseño de mezcla es, principalmente, un problema de preferencia de ingeniería, ya que cada método tiene ciertos rasgos y ventajas únicas. Ambos métodos pueden usarse con resultados satisfactorios.

#### 3.2 PRODUCCIÓN DE LA MEZCLA ASFALTICA

Los pavimentos de concreto asfáltico son preparados en una planta mezcladora. Aquí los agregados son combinados entre ellos, calentados, secados y mezclados con el cemento asfáltico para producir la mezcla en caliente. Las plantas pueden ser pequeñas y simples o grandes y complejas, dependiendo de la cantidad de mezcla asfáltica que se quiera producir por hora.

El agregado de las pilas de almacenamiento, se pasa en cantidades moderadas a un depósito rotativo, donde se calientan y se seca. Después se pasa a través de una zaranda donde se seleccionan los diferentes tamaños de agregados y se colocan en los depósitos de almacenamiento en caliente.

Uno de los criterios para el diseño de una mezcla de asfalto es el de los agregados; la cantidad de agregados dependerá del tipo de planta de asfalto que se tendrá a la disposición,

es decir, de cuántas tolvas contará para los diferentes tipos de agregados a utilizarse y la proporción de cada uno de ellos dependerá del tipo de mezcla a producirse.

Una planta central de asfalto se debe encontrar dotada de la maquinaria indispensable para producir la más alta calidad de pavimentos asfálticos.

Como su nombre lo indica ésta será instalada en el centro de una red importante de trabajos, cuyos puntos finales se encuentren a una distancia tal que las mezclas no pierdan las temperaturas de aplicación al hacer el recorrido de la planta a los trabajos.

### 3.3 CARACTERÍSTICAS DE MEZCLA Y COMPORTAMIENTO

Cuando una muestra de mezcla pavimentada es preparada en el laboratorio, puede ser analizada para determinar su probable comportamiento en una estructura de pavimento. El análisis se enfoca sobre cuatro características de la mezcla y la influencia de estas características son cómo tener un comportamiento de mezcla. Las cuatro características son:

- densidad de mezcla,
- vacíos de aire,
- vacíos en el agregado mineral,
- contenido del asfalto.

#### 3.3.1. Densidad

La densidad de la mezcla compactada es su unidad de peso (el peso de un volumen específico de mezcla). La Densidad es particularmente importante al inspector, porque la alta densidad del pavimento terminado es esencial para los últimos comportamientos de pavimento.

En exámenes y análisis de diseño de mezcla, la densidad del espécimen compactado es usualmente expresado en libras por pie cúbico (lb/ft<sup>3</sup>) o kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>). Esto es calculado multiplicando la gravedad específica del volumen de la mezcla por la densidad del agua (62.416 lb/ft<sup>3</sup>(1000kg/m<sup>3</sup>)). La densidad determinada en el laboratorio se vuelve estándar, por lo cual, la densidad del pavimento terminado está determinada a ser la adecuada o inadecuada. Debido a lo compactado en sitio, raramente pueden lograrse las densidades por métodos de compactación estándar de laboratorio, estas especificaciones, usualmente, requieren que la densidad de pavimento sea un porcentaje de densidad de laboratorio.

#### 3.3.2. Vacíos de aire.

Vacíos de aire son pequeños espacios o bolsas de aire que ocurren entre la capa de partículas de agregado en la mezcla final compactada. Un cierto porcentaje de vacíos de aire es necesario en toda mezcla de grado denso para carretera, para permitir alguna compactación adicional de pavimento bajo el tránsito y proveer espacios dentro de los cuales pequeñas cantidades de asfalto pueden fluir durante esta compactación subsecuente. El porcentaje permisible de los vacíos de aire (en especímenes de laboratorio) está entre 3% y 5% para carpetas superficiales y carpetas base, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un asfalto de pavimento es una función del contenido de vacío de aire. La razón para esto, es el hecho de que lo bajo de vacíos de aire, va a ser la menor

permeabilidad de la mezcla la. Alto contenido de vacíos de aire provee caminos pasajeros a través de la mezcla para la entrada de aire y agua, haciendolos dañinos. Muy bajo contenido de vacíos, por lo contrario, pueden conducir a llenado, una condición en la cual el exceso de es asfalto prensado hacia afuera de la superficie de la mezcla.

Densidad y contenido de aire están directamente relacionados. Entre mayor densidad, menor porcentaje de vacíos en la mezcla y, viceversa. Especificaciones de trabajo, usualmente, requieren una densidad de pavimento que permita bajo contenido de vacío de aire, preferiblemente menos del 8 porciento.

### 3.3.3. Vacíos en el agregado mineral.

Vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de vacío-aire que están entre las partículas de agregado en una mezcla pavimentada compactada. Entre mayor VMA en el agregado seco, hay mayor espacio disponible para las películas de asfalto. Basado en el hecho de que lo grueso de la película de asfalto sobre las partículas de agregado hace mayor la durabilidad de la mezcla, requerimientos mínimos específicos para VMA son recomendados y especificados como una función gradual del agregado. Como se muestra en la Fig. 3.1 que ilustra VMA, y la tabla 3.2 presenta requerimientos específicos.

Valores mínimos de VMA deben ser adheridos a una película gruesa de asfalto que si se logra puede ser durable. Incrementando la densidad de la graduación del agregado a un punto donde valores mínimos bajos de VMA son obtenidos, esto conduce a películas delgadas de asfalto y una vista seca, mezcla de baja durabilidad. De esta forma, economizando en contenido asfáltico al bajar VMA es, actualmente, productivo-contable y dañino en calidad de pavimento.

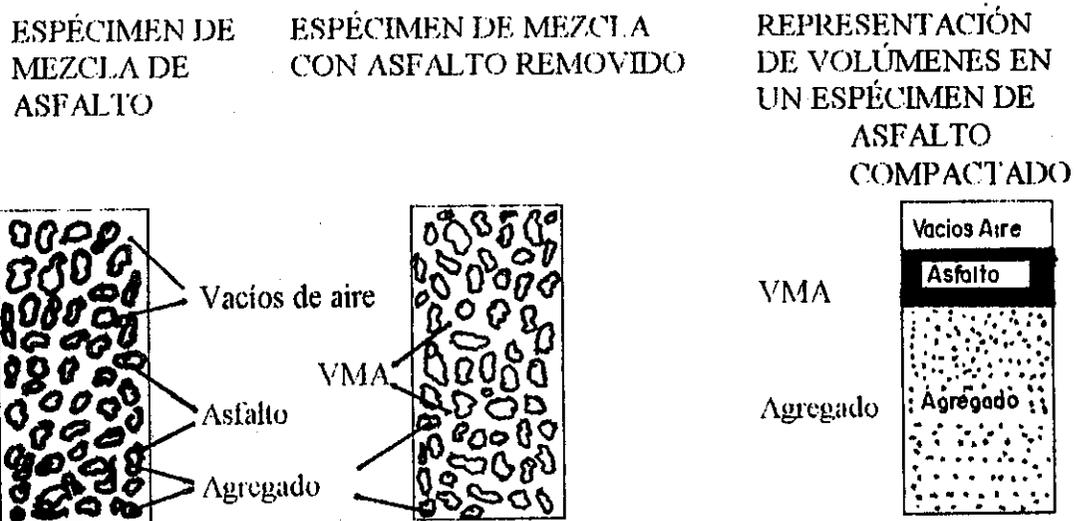


Fig. 3.1- Da una Ilustración de VMA en un espécimen de mezcla compactada, mostrado.

**PORCENTAJE MÍNIMO DE VACÍOS EN AGREGADO MINERAL**

| Designación de tamiz No. U.S.A | Tamaño de partícula máximo nominal pulgadas | Vacios mínimos agregado mineral porcentaje |
|--------------------------------|---|--|
| No.16                          | 0.0469                                      | 23.5                                       |
| No.8                           | 0.093                                       | 21   |
| No.4                           | 0.187                                       | 18   |
| 3/8"                           | 0.375                                       | 16   |
| 1/2"                           | 0.500                                       | 15   |
| 3/4"                           | 0.750                                       | 14   |
| 1"                             | 1.00  | 13   |
| 1 1/2"                         | 1.50  | 12   |
| 2"                             | 2.00  | 11.5                                       |
| 2 1/2"                         | 2.50  | 11   |

Tabla 3.2 Vacíos en agregados minerales (VMA requerimientos)

**3.3.3. Contenido de asfalto**

La proporción de asfalto en la mezcla es crítica y debe ser correctamente determinada en un laboratorio y así, controlada, precisamente, en el proyecto. El contenido de asfalto para una mezcla particular es establecido discutiendo el criterio dictado por cualquier método de diseño de mezcla se este utilizando.

El contenido de asfalto óptimo de una mezcla es altamente dependiente sobre características de los agregados, tales como graduación y absorción. La graduación de agregado está directamente relacionada con contenido de asfalto óptimo. Entre más fina sea la mezcla más larga será el área total de la superficie del agregado y más grande la cantidad de asfalto requerido para cubrir, uniformemente, las partículas. Contrarios a otras mezclas más ordinarias que tienen menos área de superficie total de agregado, éstas demandan menos asfalto.

La relación entre área de superficie de agregado y contenido de asfalto óptimo es más pronunciado donde el material de relleno (fracciones de agregado muy fino, las cuales pasan a través del tamiz No. 200) es envuelto. Incrementos pequeños en la cantidad de agregados que pasan el tamiz No. 200 en una graduación pueden literalmente absorber mayor el contenido de asfalto, resultando una mezcla seca e inestable. Decrementos pequeños de agregados que pasan el tamiz No.200 tienen como resultado una mezcla muy rica (húmeda). Variaciones en el contenido del relleno causarán cambios en propiedades de la mezcla, de seco a húmedo. Si una mezcla contiene muy poco o mucho relleno mineral, casi siempre, ajustes arbitrarios para corregir la situación es, probablemente, lo que empeora. En vez de esto, un examen y muestreo propio deben ser hechos para determinar la causa de las variaciones y si es necesario, establecer un nuevo diseño de mezcla.

Es difícil determinar el contenido de asfalto óptimo, porque suficiente asfalto debe ser agregado a la mezcla para permitir absorción y todavía, cubrir las partículas con una película adecuada. Cuando se discute asfalto absorbente o no absorbente, tecnólogos discuten dos tipos de contenido de asfalto y contenido total efectivo.

Contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser agregado a la mezcla para producir las calidades de mezcla deseadas. Contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; la cantidad de asfalto que efectivamente forma una película limitante sobre las superficies de agregado. Contenido de asfalto efectivo es calculado al substrair la cantidad de asfalto absorbido del contenido de asfalto total.

La absorbidad (habilidad del asfalto de absorber) de un agregado es, obviamente, una importante consideración en determinar el contenido de asfalto de una mezcla. Esto es, generalmente, conocido para establecer fuentes de agregado, pero, requiere examen cuidadoso donde nuevas fuentes de agregado están siendo usadas.

### **3.4 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN DISEÑO DE MEZCLA**

Buenos pavimentos de asfalto de mezcla-caliente funcionan bien porque son diseñados, producidos y colocados en tal manera que dan ciertas propiedades deseadas. Hay diferentes propiedades que contribuyen a la calidad de pavimentos de mezcla-caliente. Ellos incluyen:

- estabilidad,
- durabilidad,
- impermeabilidad,
- trabajabilidad,
- flexibilidad,
- resistencia a la fatiga,
- resistencia al deslizamiento.

Asegurando que la mezcla pavimentada tenga cada una de estas propiedades, es una de las mayores metas de los procedimientos de diseño de la mezcla. De esta forma, el inspector debe estar consciente de que cada una de las propiedades, deben evaluarse a fin de obtener resultados satisfactorios para los diferentes periodos de diseño.

#### **3.4.1. Estabilidad**

La estabilidad de un pavimento de asfalto tiene como característica la resistencia al empuje y rutas bajo cargas (tránsito). Un pavimento estable mantiene su forma y uniformidad bajo cargas repetidas y el pavimento no estable desarrolla rutas (canales) ondulaciones (ranuras o corrugaciones) y otros signos de levantamientos de la mezcla.

Debido a especificaciones de estabilidad para un pavimento, éstas dependen del tránsito esperado, los requerimientos de estabilidad pueden ser establecidos sólo después de un análisis de tránsito completo. Las especificaciones de estabilidad deben ser suficientemente grandes para manejar, adecuadamente, el tráfico, pero, no más alto que las condiciones de tránsito requeridos. Un valor muy alto de estabilidad produce un pavimento que es muy rígido y así, menos durable que el deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y cohesión interna. La fricción intensa entre las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada mediante características de agregado, tales como forma y textura de superficie.

La partículas de agregado con angulos definidos con la mayor rugosidad de sus texturas de superficie, mayor será la estabilidad que determine la mezcla.

En donde no son disponibles agregados con altas características de fricción interna, se diseñan mezclas económicas usando agregados con valores bajos de fricción, éstas pueden ser usadas donde es esperado tránsito liviano.

La fuerza de cohesión incrementa el rango de carga (tránsito). La cohesión también incrementa como aumenta la viscosidad del asfalto o como la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, la cohesión se incrementa con aumento de contenido de asfalto, arriba de cierto punto. Pasado el punto, incremento de contenido de asfalto crea una película muy gruesa sobre las partículas de agregado, resultando en pérdida de fricción entre partículas. La estabilidad insuficiente en un pavimento tiene muchas causas y efectos. la Tabla. 3.3 lista algunas de ellas.

### ESTABILIDAD BAJA

| Causas  | Efectos   |
|---|---|
| Exceso de asfalto en mezcla                             | Ranura, rutas y empujes o pérdida   |
| Exceso de arena de tamaño medio en mezcla               | Tendencia a enrollarse durante y para el período después de la construcción, dificultad en compactación |
| Agregado redondeado pequeño o superficies no aplanadas. | Rutas y canales   |

Tabla. 3.3 Causas y efectos de inestabilidad de pavimento

#### 3.4.2. Durabilidad.

La durabilidad de un pavimento de asfalto es su habilidad de resistir cambios como: desintegración de agregados y separación de la película de asfalto de los agregados.

Generalmente, la durabilidad de la mezcla puede lograrse por tres métodos. Estos son: usando máximo contenido de asfalto, usando una graduación densa y diseñando y compactando la mezcla para impermeabilidad máxima.

El Contenido de asfalto máximo incrementa la durabilidad porque el grueso de las películas de asfalto no envejecen y endurecen tan rápido como adelgazan. Consecuentemente, el asfalto retiene a lo largo del tiempo, sus características originales. También, el contenido de asfalto máximo efectivamente se sitúa en un gran porcentaje de vacíos de aire interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración de aire y agua.

Desde luego, un cierto porcentaje de vacíos de aire deben ser dejados abiertos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en clima cálido.

Una densa graduación de sonido, corrosidad, resistencia despojada del agregado contribuye a la durabilidad del pavimento en tres formas. Una graduación densa provee un cercano contacto entre partículas de agregado. Esto engrandece la impermeabilidad de la mezcla. Un sonido, corrosidad de agregado resiste desintegración bajo carga de tráfico, y resistencia-despojada del agregado resiste la acción del agua y el tráfico, la cual tiende a despojar de la película de asfalto las partículas de agregado y conduce a enredar el pavimento. Bajo algunas condiciones, la resistencia de una mezcla a despojamiento puede ser incrementada por el uso de aditivos antidespojantes o un relleno mineral tal como cal hidratada.

Diseñando y compactando la mezcla para dar al pavimento una máxima impermeabilidad, se reducirá la introducción de aire y agua dentro el pavimento.

La carencia de durabilidad en un pavimento puede causar diversas causas y efectos, como se muestra en la Tabla. 3.4 que presenta una lista de algunas de ellas.

| DURABILIDAD POBRE   |   |
|---|---|
| Causas  | Efectos   |
| Bajo contenido de asfalto   | Resequedad o enredamiento   |
| Alto contenido de vacío a través de diseño o carencia de compactación | Temprana dureza de asfalto seguido de rajadura o desintegración                               |
| Susceptibilidad al agua(Hidrofílico) del agregado en mezclas          | Películas de asfalto despojada del agregado dejando un pavimento irritado, enredado o blando. |

Tabla 3.4 Causas y efectos de la carencia de durabilidad.

### 3.4.3. Impermeabilidad

La Impermeabilidad es la resistencia de un pavimento de asfalto al paso de aire y agua dentro o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacío de una mezcla compactada. Un contenido de vacío corrido es una indicación del potencial para paso de aire y agua a través de un pavimento, el carácter de estos vacíos es mas importante que el número de vacíos. El tamaño de los vacíos, en la superficie del pavimento determina el grado de impermeabilidad.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de mezclas pavimentadas compactadas, virtualmente, toda mezcla de asfalto usada en construcción de carreteras es permeable en algún grado. Esto es aceptable siempre y cuando esté dentro de los límites específicos. Causas y efectos de valores de impermeabilidad pobre en pavimentos de asfalto son mostrados en la Tabla 3.5.

## MEZCLA MUY PERMEABLE

| Causas                                       | Efectos  |
|--|--|
| Bajo contenido de asfalto                    | Películas de asfalto delgado causarán temprano envejecimiento y enredo.                    |
| Alto contenido de vacíos en diseño de mezcla | Agua y aire pueden tempranamente, entrar en pavimento causando oxidación y desintegración. |
| Compactación inadecuada                      | Resultará en altos vacíos en conducir pavimento a infiltración de agua y poca fuerza.      |

Tabla. 3.5 Causas y efectos de permeabilidad.

### 3.4.4. Trabajabilidad

La trabajabilidad se describe como la facilidad con la cual una mezcla de pavimento puede ser colocada y compactada. Mezclas con buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con trabajabilidad pobre son dificultosas para colocar y compactar. La trabajabilidad puede mejorar cambiando parámetros de diseño de mezcla, fuentes de agregado y/o graduación.

Las mezclas ásperas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado ordinario) tienen una tendencia a segregarse durante el manejo y también pueden ser dificultosas para compactar. A través del uso de mezclas de ensayo en el laboratorio, con agregados finos adicionales y tal vez asfalto, estos pueden ser agregados a una mezcla áspera para hacerla más trabajable. El cuidado debe ser considerado para asegurar que la mezcla alterada encuentre todos los demás diseños de criterio, tales como contenido de vacío y estabilidad.

Un alto contenido de relleno también puede afectar la trabajabilidad en una mezcla. Esto puede causar que la mezcla sea gomosa, haciéndola difícil de compactar.

La trabajabilidad es, especialmente, importante donde el pavimento de asfalto debe ser colocado a mano y rastrillado alrededor de curvas finas y otros obstáculos en donde es requerido. Es importante que las mezclas usadas en tales áreas sean altamente trabajables.

Las mezclas que también pueden ser empujadas o trabajadas fácilmente son llamadas mezclas sensibles. En cambio las mezclas delicadas son muy inestables para colocar y compactar propiamente, ya que éstas, a menudo, se ven afectadas por un envejecimiento del relleno mineral, mucha arena de medio tamaño y suavidad, partículas de agregado redondas y/o mucha humedad en la mezcla.

Aunque normalmente, el mayor contribuyente a problemas de trabajabilidad, es el asfalto, por el manejo de su temperatura de la mezcla, que afecta a la viscosidad del asfalto,

muy baja temperatura hará una mezcla no trabajable, una alta temperatura podría hacerla sensible.

### TRABAJABILIDAD POBRE

| Causas                                 | Efectos   |
|--|---|
| Tamaño máximo de largo de la partícula | Superficie rugosa, dictada la colocación                                |
| Excesividad de agregado ordinario      | Podría ser duro para compactar  |
| Una muy baja temperatura de mezcla     | Descubre agregados, no durable, superficie rugosa, difícil de compactar |
| Mucha área de tamaño mediano           | Mezcla de bajo alisado, permanece sensible                              |

Tabla. 3.6 Causas y efectos de problemas de trabajabilidad.

#### 3.4.5. Flexibilidad

Flexibilidad es la habilidad de un pavimento de asfalto para ajustarse a graduales movimientos y asentamientos de la base y sub-base sin rajarse.

Una mezcla gradual-abierta con alto contenido de asfalto es generalmente, más flexible que una de grado denso, que es una mezcla de bajo contenido de asfalto. Algunas veces la necesidad para que una mezcla sea flexible da como resultado que la estabilidad se opone, así que debe tratar de hacer mezclas sin que ninguna de las dos propiedades se vean afectadas.

#### 3.4.6. Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga es la resistencia del pavimento a repetidas ondulaciones bajo cargas de tránsito. Una investigación muestra que los vacíos de aire (relacionados a contenido de asfalto) y la viscosidad de asfalto tiene un efecto significativo sobre la resistencia a la fatiga. El incremento del porcentaje de vacíos de aire en el pavimento, ya sea por diseño o por falta de compactación, la vida de fatiga de pavimento (la longitud de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) es drásticamente corto. Del mismo modo, un pavimento con contenido de asfalto que ha envejecido y endurecido, significativamente, ha reducido su resistencia a la fatiga.

Las características de grosor y la fuerza del pavimento y el poder de soporte del subagregado también tiene gran importancia para hacer determinante la vida del pavimento y previene rajaduras asociadas con carga. Pavimentos grueso, soportan bien, no tienen ondulaciones como los pavimentos delgados o de poco soporte. Así, ellos tienen larga vida a la fatiga.

La tabla 3.7 presenta una lista de causas de una resistencia a la fatiga pobre.

#### RESISTENCIA A FATIGA POBRE

| CAUSAS   | EFFECTOS   |
|--|--|
| Bajo contenido de asfalto<br>Altos contenido de vacíos | Rajadura por fatiga<br>Envejecimiento temprano de asfalto seguido de rajaduras por fatiga. |
| Carencia de compactacion                               | Envejecimiento temprano de asfalto seguido de rajaduras por fatiga.                        |
| Inadecuado grosor de pavimento                         | Excesivo doble seguido de rajaduras por fatiga.  |

Tabla. 3.7 Causas y efectos de resistencia a fatiga pobre.

#### 3.4.7. Resistencia al deslizamiento

La resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de asfalto para reducir el deslizamiento o resbalamiento de las llantas de un vehículo, particularmente, cuando está húmeda. Para una buena resistencia al deslizamiento ó patinaje, la llanta debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de manejar sobre una película de agua sobre la superficie de pavimento (plano de agua). La resistencia al deslizamiento es típicamente medido en el campo con la velocidad a 64.4 km./hr con una llanta estándar controlando la humedad de la superficie del pavimento.

Una superficie de pavimento rugosa con muchas cimas pequeñas y valles tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie suave. La mejor resistencia al deslizamiento es obtenida con agregado de textura-rugosa en una mezcla graduada-abierta con un agregado de, aproximadamente, 9.5 mm (3/8 de pulg) a 12.5mm (1/2 pulgada) tamaño máximo. Aparte de tener una superficie rugosa, el agregado debe resistir el pulido que es provocado por el tránsito.

Una lista de causas y efectos relacionados a resistencia del deslizamiento pobre es mostrada abajo en la tabla 3.8

## RESISTENCIA A DESLIZAMIENTO POBRE

| CAUSAS                            | EFECTOS                                       |
|-----------------------------------|---|
| Asfalto en exceso                 | Pérdida, baja resistencia al deslizamiento    |
| Textura pobre o agregado graduado | Pavimento suave, potencial para plano de agua |
| Agregado pulido en mezcla         | Baja resistencia al deslizamiento.            |

Tabla 3.8 Causas y efectos de resistencia a deslizamiento pobre.

### 3.5. EVALUACIÓN Y AJUSTE DEL DISEÑO DE UNA MEZCLA

En el proceso de desarrollar un diseño específico de mezcla, es necesario hacer diversas pruebas de mezcla para encontrar una que concentre todos los criterios del método de diseño utilizado. La evaluación de cada prueba de mezcla sirve como una guía de ajuste para las siguientes pruebas.

Las pruebas de mezcla iniciales para, establecer la fórmula de mezcla de trabajo deben tener una graduación de agregado que este dentro de las especificaciones de trabajo. Donde las mezclas de pruebas iniciales fallen para encontrar el criterio de diseño, es necesario modificar o en algunos casos, rediseñar la mezcla usando una graduación diferente de agregado.

Las especificaciones del Instituto de Asfaltos que se refieren a las tablas que proporcionan los diferentes tipos de mezcla de acuerdo con los agregados que se estén mezclando, las cuales proporcionan los límites de agregados que pasan los tamices, pueden demostrar más, claramente, un criterio para la mezcla de cada uno de los agregados.

La siguiente es una guía general para ajuste de una mezcla de prueba, para encontrar un criterio de diseño. Cada sección describe la condición de mezcla necesaria a corregir. Las sugerencias delineadas no podrían aplicarse en todos los casos.

#### 3.5.1. Pocos vacíos, baja estabilidad.

Los vacíos podrían ser incrementados de diversas formas. Una es incrementar los VMA incorporando a los agregados, ya sea ordinarios adicionales o finos adicionales a la mezcla. Incrementando VMA proveerá mayor espacio en la mezcla para vacíos de aire adicionales.

Otra forma de incrementar vacíos es bajar el contenido de asfalto. Esto puede ser hecho sólo si el exceso de asfalto está en la mezcla y el contenido de asfalto no es reducido

bajo el punto donde la película es gruesa y subsecuentemente, la durabilidad del pavimento, son reducidas bajo niveles aceptables.

Incrementando la cantidad de materiales molidos en la mezcla se provee de superficies de textura rugosa y formas de partícula angular que aumentan los VMA y, la fricción interpartícula. Con algunos agregados (cuarzo y tipos de roca similares) casi siempre, las caras fracturadas recientemente son tan suaves como las caras desgastadas por agua y un apreciable incremento en estabilidad no se logra moliéndolo solo.

### **3.5.2. Pocos vacíos, estabilidad satisfactoria**

El bajo contenido de vacíos puede causar expulsión del asfalto cuando el pavimento es expuesto al tránsito por un periodo de tiempo, esta expulsión de asfalto puede causar inestabilidad porque permite la degradación de los agregados utilizados en la mezcla, por esta razón las mezclas de bajos vacíos deben ser ajustadas por cualquiera de los métodos propuestos anteriormente. En este tipo de mezclas con bajo contenido de vacíos la estabilidad es aparente.

### **3.5.3. Vacíos satisfactorios, baja estabilidad.**

La baja estabilidad de mezclas, cuando los vacíos y graduación del agregado son satisfactorios podrían ser indicativo de algunas deficiencias de los agregados. Para mejorar esta baja estabilidad es indispensable mejorar la calidad de los agregados, siguiendo los pasos descritos en 3.5.1.

### **3.5.4. Altos vacíos, estabilidad satisfactoria**

Altos vacíos están, frecuentemente, aunque no siempre, asociados con alta permeabilidad. Así, aun cuando la estabilidad de la mezcla es satisfactoria, el excesivo contenido de vacíos debe ser reducido. Esto puede ser hecho usualmente por el incremento de contenido de polvo mineral de la mezcla. En algunos casos, casi siempre, la graduación del agregado debe ser ajustada para incrementar densidad.

### **3.5.5. Altos vacíos, baja estabilidad**

Cuando los vacíos son altos y baja estabilidad, el contenido de vacío debe ser reducido por los métodos discutidos arriba. Si este ajuste no mejora el contenido de vacíos y la estabilidad, el tipo de agregado usado debe ser revisado, como se describe arriba en 3.5.1.

## **3.6 APLICACIONES DEL EXPERIMENTO DE UN DISEÑO DE MEZCLA**

Para el Ingeniero, las propiedades y procedimientos del diseño de la mezcla son importantes que las establezca y las de a conocer para establecer un método de diseño en los cuales las especificaciones formen una parte muy esencial, para el cumplimiento de la construcción e inspección.

Las pruebas de diseño de mezcla, son un significado de especificaciones establecidas y chequeos que la mezcla usada sobre la carretera que reúna estas especificaciones. Normalmente, el ensayo de diseño de mezcla tiene cuatro importantes aplicaciones en toda la construcción. Esta son:

- diseño preliminar,
- aceptación del banco,
- control de la producción de la mezcla,
- criterio de compactación de pavimentos de asfalto.

### **3.6.1. Prueba de diseño preliminar**

El propósito principal de un experimento de diseño preliminar es determinar si el banco puede proveer agregados que satisfagan, ambos, graduación y especificaciones, de diseño de mezcla. Los resultados de experimentos de diseños preliminares también indicaran ya sea o no los requerimientos de diseño que pueden ser obtenidos, prácticamente, dentro del marco de trabajo de las especificaciones.

### **3.6.2. Experimento de aceptación de el banco.**

El principal objetivo de esta prueba es determinar mezcla más económica de agregados que satisfará, graduación y requerimientos necesarios. La prueba asegura la selección de materiales y permite al contratista empezar a colocar estos materiales en el sitio de trabajo.

### **3.6.3. Control de Producción de la Mezcla.**

El control de producción de mezcla esta basada en el uso de la fórmula de mezcla de trabajo que tiene concentrar todos los requerimientos de especificación. La fórmula de la mezcla de trabajo es la "receta" usada por la planta para producir la mezcla final de pavimento. Esto incluye información sobre la graduación de las partículas de agregado de materiales y el contenido de asfalto seleccionado. Debido a que las variaciones en la mezcla son inevitables durante la producción, la fórmula de trabajo-mezcla ha edificado tolerancias que permiten variaciones razonables en graduación y contenido de asfalto.

Una prueba de control de rutina es importante para llevar un control de calidad. Esto se hace, periódicamente, muestreando la mezcla producida por la planta y experimentando las propiedades de las muestras. Los resultados de las pruebas son comparados con las pruebas de control de mezcla-de trabajo y por todos los requerimientos de especificación. En aquellas instancias donde operen irregularidades y los límites de la fórmula de mezcla-de trabajo son excedidos, las correcciones apropiadas serán requeridas en la planta. Ocasionalmente, donde la situación lo justifica, será necesario reevaluar y rediseñar la mezcla de pavimento.

### **3.6.4. Criterio de compactación de concreto de asfalto**

Los especímenes de diseño de mezcla preparados en el laboratorio, generalmente, son usados para establecer una densidad de la mezcla. Para establecer una densidad real, las muestras de la mezcla de planta actual son compactadas sobre el sitio de trabajo o en un laboratorio de campo. Una serie de medidas de densidad son entonces tomadas sobre la sección del pavimento terminado. Estas medidas son hechas por métodos de muestreo o usando un calibrador de densidad nuclear.

Las especificaciones típicas requieren que cada cantidad de la base compactada y superficie será aceptada cuando el promedio de las cinco determinaciones de densidad es igual o mayor que el 96% y cuando una determinación no individual es más baja que el 94 %, de la densidad promedio de los seis especímenes preparados de laboratorio.

## **3.7 MÉTODO DE MARSHALL PARA EL DISEÑO DE MEZCLA**

### **3.7.1. Recomendación**

El concepto del Método Marshall de diseño de mezclas pavimentadas fue desarrollado por Bruce Marshall, formalmente, Ingeniero Bituminoso del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi.

La prueba Marshall es originada de una investigación que fue empezada por la Corporación de Ingenieros de la Armadas de U.S. en 1943.

El Método Marshall usa un equipo fácilmente transportable por tal motivo las Corporaciones decidieron adoptar el Método Marshall para el diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo. A través de muy extensiva investigación de laboratorio, pruebas de tránsito y estudios correlativos, las Corporaciones de Ingenieros mejoraron y agregaron ciertos rasgos al procedimiento de prueba de Marshall.

### **3.7.2. Propósito**

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido de asfalto óptimo para una mezcla particular de agregado. El método también provee información acerca de las propiedades del asfalto de la mezcla caliente y establece densidad óptima y contenido de vacío que debe ser encontrado durante la construcción de pavimento.

Como se presentó en esta sección, El método Marshall es aplicable sólo a mezclas en caliente usando agregados con tamaños máximos de 25 mm (1 pulg.) o menos. El método podría ser usado para diseño de laboratorio y para control de campo de la mezcla caliente.

### 3.7.3. Descripción general

El Método Marshall usa especímenes de prueba estándar de 2 ½ pulgadas (64 mm) de alto y 4 pulg. de diámetro (102 mm). Una serie de especímenes, cada uno conteniendo la misma mezcla de agregados, pero, variando en contenido de asfalto, es preparado usando un procedimiento específico de calentamiento de la mezcla y compactación de la misma.

Los dos rasgos principales del método Marshall de diseño de mezcla son: un análisis de densidad de vacíos y una prueba de flujo de estabilidad del espécimen de prueba compactado.

### 3.7.4. Responsabilidades del inspector

Un Inspector no conduce, normalmente, procedimientos de diseño de mezcla, casi siempre, él es responsable de la adherencia proyectada al resultado final de aquellos procedimientos-de las especificaciones de mezcla.

Estando familiarizado con el procedimiento de diseño de mezcla, facilita al inspector a entender cómo las especificaciones son formuladas. Esto también desarrolla un entendimiento de la relación entre materiales, especificaciones y el producto final. Este entendimiento equipa al inspector a analizar problemas que podrían ocurrir considerando comportamiento de cualidades del asfalto de mezcla caliente en la planta o el sitio pavimentado.

## 3.8. DISEÑO DE MEZCLA MARSHALL.

Esta es una descripción general de los procedimientos seguidos en el diseño de Mezcla Marshall. El procedimiento detallado y completo que debe ser seguido, está contenido en AASHTO T 245 (ASTM D 1559).

### 3.8.1. Preparación para procedimiento Marshall.

Como fue discutido en el capítulos 1 y capítulo 2, agregados y asfaltos tienen características diferentes. Estas características tienen un impacto directo sobre la propia naturaleza del pavimento. El primer paso en el método de diseño, viene a determinar qué cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia a deslizamiento, etc.) de la mezcla de pavimento deben tener y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que combine para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, las pruebas de preparación pueden comenzar.

#### 3.8.1.1 Selección de muestras de material

El primer paso para el experimento es reunir las muestras del asfalto y el agregado que será usado en la mezcla. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a aquellas que serán usadas en la mezcla caliente final. Lo mismo, para las muestras de agregado. La razón es simple, la receta puede ser correcta sólo si los ingredientes probados en el laboratorio tienen características idénticas a aquellas de los ingredientes usados en el producto final.

Gran variedad de serios problemas, como una trabajabilidad pobre de la mezcla, son resultados históricos de variantes entre materiales probados y los materiales usados actualmente.

### 3.8.1.2 Preparación de agregado

La relación viscosidad-temperatura para el cemento asfáltico a ser usada ya debe ser conocida para establecer el mezclado de laboratorio y temperaturas de compactación. Consecuentemente, los procedimientos preliminares se enfocan sobre el agregado, con el propósito de identificar correctamente características del agregado. Estos procedimientos incluyen secado del agregado, determinación gravedad específica del agregado y conduciendo a un análisis de tamiz-lavado.

- **Secado del agregado**

El método Marshall demanda que los agregados, probados, estén tan libres de humedad como sea práctico. Esto se hace para prevenir humedad que afecte los resultados de la prueba.

Una muestra de cada agregado a ser probado es colocado en una bandeja y calentado en un horno a una temperatura de 230° F (110° C). La muestra calentada es entonces, pesada y el peso registrado.

La muestra es completamente calentada una segunda vez, después, la misma es pesada de nuevo y su peso registrado. Este procedimiento es repetido hasta que el peso de la muestra permanece constante a través de dos calentamientos seguidos, indicando que tanta humedad como es posible ha sido evaporada.

- **Análisis granulométrico lavado.**

Este análisis es un procedimiento usado para identificar las proporciones de tamaño de diferentes partículas en las muestras de agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de mezcla deben establecer que proporciones de diferentes tamaños de las partículas de agregado, la mezcla caliente debe contener para producir un producto final con las características deseadas.

- **Determinando Gravedad específica**

La gravedad específica de cualquier sustancia es el ratio de volumen de peso de una unidad que compara sustancia al ratio de volumen de peso de una unidad igual de agua. La gravedad específica de una muestra de agregado es determinada por comparación del peso de un volumen dado del agregado al peso de un volumen igual de agua en la misma temperatura (Fig. 3.9).

Calculando la gravedad específica de la muestra secada de agregado establece, un punto de referencia para últimas medidas de gravedad específica, tomadas para determinar las proporciones de agregado, asfalto y vacíos de aire en los métodos de prueba.

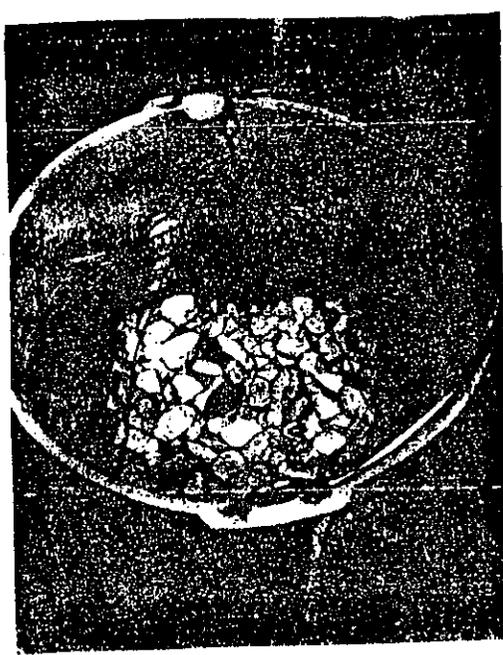


Fig. 3.9 Determinación de la gravedad específica.

### 3.8.1.3. Preparando muestras de prueba de mezcla.

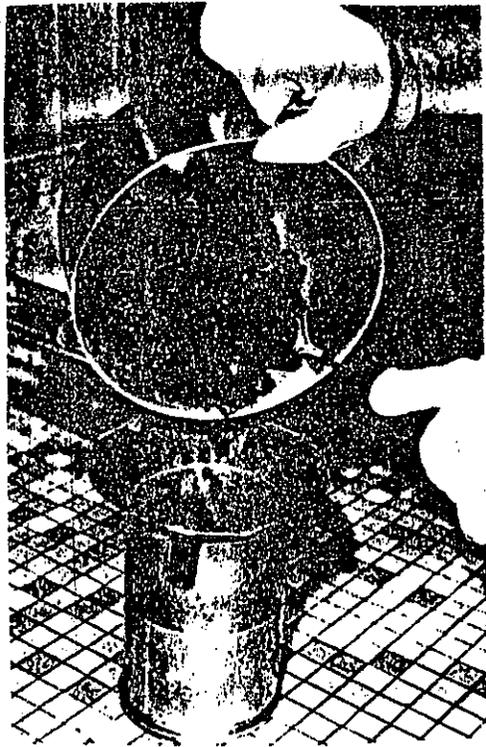
Las muestras de prueba de posibles mezclas pavimentadas son preparadas, cada una, conteniendo una ligera cantidad de asfalto. El rango de contenidos de asfalto usados en la muestra de prueba es determinado de forma empírica, previa, con los agregados en la mezcla. El rango da al laboratorio un punto de comienzo para determinar un contenido de asfalto para una mezcla final. La porción de agregado de las mezclas es formulada por los resultados de análisis de tamiz.

Las muestras son preparadas como sigue:

1. Asfalto y agregado son calentados y completamente mezclados juntos hasta que todas las partículas del agregado son cubiertas. Esto simula el calentamiento y procesos de mezclado en una planta.
2. Las mezclas de asfalto caliente son colocadas en moldes Marshall precalentados (fig. 3.10) en preparación para compactación por la caída del martillo Marshall, el martillo también es calentado así, esto no enfría la superficie de mezcla cuando la golpea.
3. Los especímenes son compactados por toques del martillo Marshall. El número de golpes de martillo (35, 50 o 75) depende de la cantidad de tránsito a la que la mezcla ha sido designada. Ambos lados de cada espécimen reciben el mismo número de golpes compactadores. Así, un espécimen Marshall de 35-toques, actualmente, recibe un total de 70 golpes. Un espécimen de 50-toques recibe 100 impactos. Después que la compactación es completada, los especímenes son refrescados y, entonces removidos de los moldes.

### 3.8.2. Procedimiento de prueba Marshall

Hay tres procedimientos de prueba en el método de prueba Marshall. Ellos son: una determinación de la gravedad específica del volumen, medida de estabilidad Marshall, flujo, y análisis de densidad de espécimen y contenido de vacíos.



**Fig. 3.10 Preparado de especímenes de prueba en moldes Marshall**

### **3.8.2.1. Determinación de volumen de gravedad específica.**

Tan pronto como los especímenes compactados refrescadamente han enfriado a una temperatura ambiente, la gravedad específica del volumen de cada espécimen es determinado. Esta medida es esencial para un análisis correcto de densidad de vacíos de aire. Gravedad específica del volumen es determinada usando procedimiento AASHTO T 166.

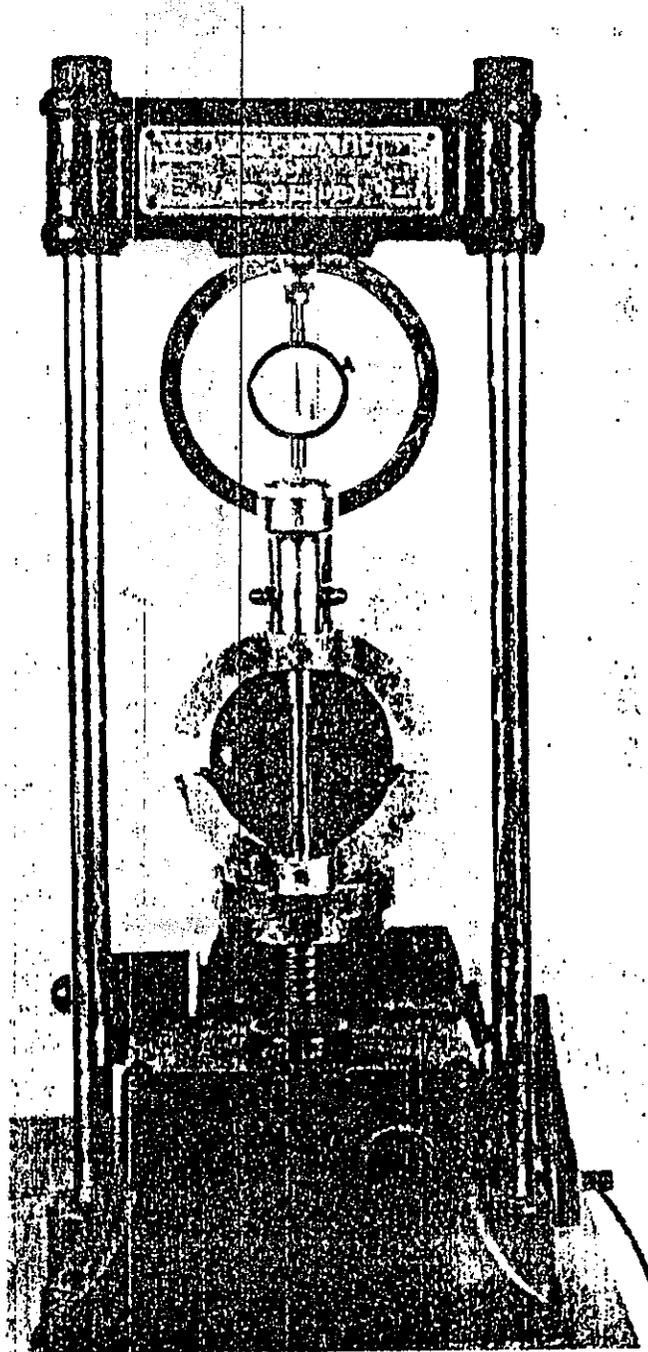
### **3.8.2.2. Pruebas de flujo y estabilidad.**

El experimento de estabilidad apunta a medir la resistencia de mezcla a la deformación bajo cargas. La prueba de flujo mide la cantidad de deformación que ocurre en carga bajo mezcla.

El procedimiento de prueba es:

1. Los especímenes son calentados en baños de agua a  $140^{\circ}\text{F}$  ( $60^{\circ}\text{C}$ ), el cual representa la temperatura mas tibia en servicio que el pavimento normalmente experimenta.
2. El espécimen de  $140^{\circ}\text{F}$  ( $60^{\circ}\text{C}$ ) es removido del baño de agua, secado de humedad y rápidamente colocado en el aparato Marshall (Fig. 3.11). El aparato consiste en un artificio para ejercer una carga sobre el espécimen y calibrar para medida la carga y flujo.
3. La carga de prueba es aplicada al espécimen a una proporción constante de 2 pulg. (51 mm) por minuto hasta que ocurra la falla. La falla es definida como la carga máxima que aguantará el espécimen.
4. La carga de falla es registrada como valor de estabilidad Marshall y el metro de flujo leído es registrado como el valor de flujo.

Figura 3.11- Espécimen en MAQUINA MARSHALL.



### 3.8.2.3. Valor de estabilidad Marshall

El valor de estabilidad Marshall es una medida de carga bajo la cual el espécimen totalmente cede o falla. Durante la prueba, cuando una carga es aplicada lentamente, la cabeza baja y alta del aparato de prueba se juntan y la carga sobre el espécimen incrementa y la lectura sobre la esfera del medidor incrementa, lentamente. Después de que la máxima carga ha sido alcanzada, la carga es discontinua. La carga máxima indicada por el calibrador o medidor es el valor de estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de la mezcla a la deformación, hay una tendencia natural a pensar que si un cierto valor de estabilidad es bueno, un valor muy alto sería mucho mejor. Esta tendencia, casi siempre, conducirá al uso de mezcla con valores de estabilidad que son muy altos.

Para muchos materiales de ingeniería, la fuerza del material, frecuentemente, es una medida de cualidad, casi siempre, esto no es necesariamente en el caso con pavimentos de mezcla caliente de asfalto. Extremadamente estabilidad alta a menudo es obtenida al costo de durabilidad.

### 3.8.2.4 Valor de flujo Marshall.

El flujo Marshall, medido en un centésimo de una pulgada, representa la deformación total del espécimen. La deformación es un decremento en el diámetro vertical de un espécimen.

Las Mezclas que tienen bajos valores de flujo y, anormalmente valores de estabilidad Marshall altos, son considerados muy frágiles rígidos para servicio de pavimento. Aquellos con altos valores de flujo son considerados muy plásticos y tienen una tendencia a distorsionarse fácilmente bajo cargas de tránsito.

### 3.8.2.5. Análisis de densidad y vacíos.

Ya terminado el ensayo de estabilidad y flujo, un análisis de densidad y vacíos es realizado para cada serie de especímenes de prueba. El propósito del análisis es determinar el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada.

- Análisis de vacíos

Los vacíos de aire son las bolsas pequeñas o aire entre la cubierta de asfalto de las partículas de agregado. El porcentaje de vacíos de aire son calculados de la gravedad específica del volumen de cada espécimen compactado y la gravedad específica máxima de la mezcla pavimentada (no vacíos) lo último es calculado de gravedades específicas del asfalto y agregado en la mezcla, con una apropiada asignación hecha para la cantidad de asfalto absorbido por el agregado o esto puede ser determinado directamente por una estandarizada, (AASHTO T 209) sobre una muestra no compactada de mezcla. La gravedad específica del volumen de especímenes compactados son determinados pesando especímenes en aire y sumergiéndolos en agua.

- Análisis de unidad de peso

La unidad promedio para cada muestra es determinada al multiplicar la gravedad específica del volumen de la mezcla por  $62.4 \text{ lb/pe}^3$  ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ).

- **Análisis de VMA**

Los vacíos en el agregado mineral, (VMA) son definidos como espacios vacíos intergranular entre las partículas de agregado en una mezcla pavimentada compactada que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto, expresado como un porcentaje del volumen total. El VMA es calculado sobre las bases de la gravedad específica del volumen del agregado y es expresado como un porcentaje del volumen de masa de una mezcla pavimentada compactada. Así, los VMA pueden ser calculados por sustracción del volumen del agregado determinado por su gravedad específica de la mezcla compactada.

### **3.9. ANALIZANDO RESULTADOS DE PRUEBAS MARSHALL**

#### **3.9.1. Resultados de pruebas por medio de gráficas**

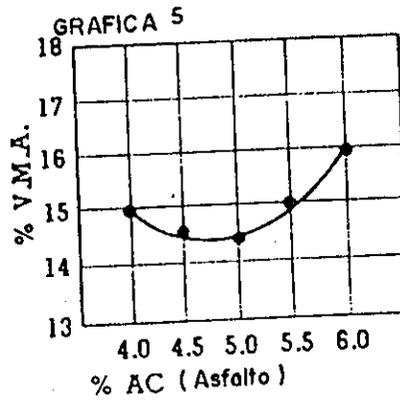
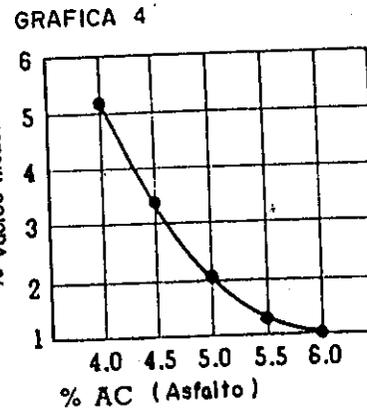
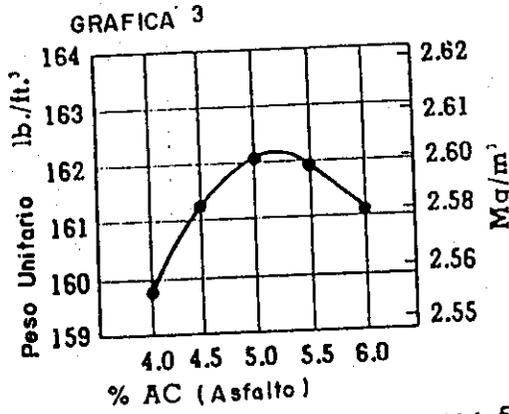
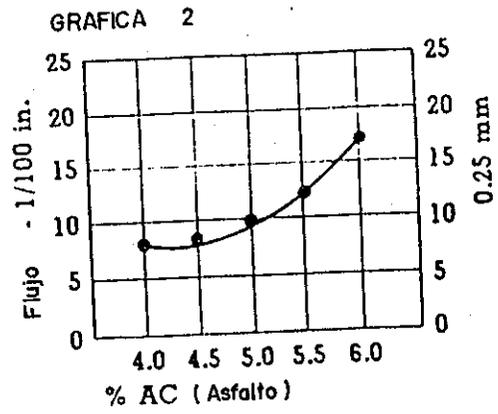
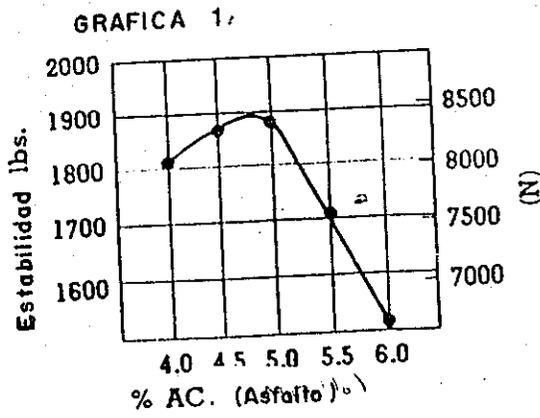
Para entender las características de cada espécimen en una serie de pruebas, laboratoristas plotean los resultados de prueba Marshall sobre diagramas o gráficas. Para estudiar las gráficas, ellos pueden determinar cuál espécimen en las serie concentra mejor el criterio para el pavimento finalizado. Las proporciones de asfalto y agregado en el espécimen vienen a ser las proporciones usadas en la mezcla final.

Las gráficas 3.12 muestran cinco gráficas de resultado de prueba Marshall. En cada gráfica está ploteado, valores de prueba. Los valores están representados por puntos. La primera gráfica muestra los valores de estabilidad Marshall; la segunda, valores de flujo Marshall, la tercera la unidad de peso (densidades) la cuarta, los porcentajes de vacíos de aire y la quinta, los porcentajes de vacíos en el agregado mineral. En cada gráfica, los puntos representan los valores que están conectados por líneas de una curva uniforme.

#### **3.9.2. Tendencias en dato de prueba.**

Cuando se plotean en gráficas, tales como las de las gráficas 3.12, los resultados de prueba, usualmente, revelan razonables tendencias consistentes en la relación entre contenido de asfalto y proporciones de mezcla. A continuación se muestra una lista con diferentes tendencias que pueden ser vistas estudiando los diferentes tipos de gráficas.

- Arriba de cierto punto, valores de estabilidad se incrementan, al incrementar el contenido de asfalto. Tras cierto porcentaje de asfalto en la mezcla, casi siempre, la estabilidad decrece (Gráfica 1)
- Valores de flujo se incrementan con incremento de contenido de asfalto (Gráfica 2)
- La curva para unidad de peso (densidad) de mezcla total es similar a la curva de estabilidad, excepto que la unidad de peso máxima, normalmente, ocurre en un contenido de asfalto alto ligeramente que la estabilidad máxima (Gráfica 3).
- El porcentaje de vacíos de aire decrece con incremento de contenido de asfalto (Gráfica 4)
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral, generalmente, decrece a un valor mínimo que se incrementa con contenidos de asfalto.



Gráficas 3.12 Ejemplo de Curvas Ploteadas Mostrando Resultados de Prueba para Series de Seis Especímenes Marshall.

### 3.9.3. Determinación de contenido de asfalto óptimo

El contenido de asfalto óptimo de la mezcla final pavimentada es determinada de datos de prueba descritos arriba. Haciendo esta determinación, generalmente, tomando en consideración tres de las cinco curvas de propiedades de prueba (pero si se quiere un resultado más exacto hay que tomar en cuenta los cinco gráficos para determinar el contenido de asfalto óptimo), que son las siguientes:

- estabilidad,
- peso unitario,
- porcentaje de vacíos de aire.

En las gráficas se busca el contenido de asfalto que corresponde a la más grande estabilidad y el mayor peso unitario, lo cual resulta en un contenido de vacíos aproximadamente, en la mitad del rango recomendado por el tipo de pavimento que ha sido designado. Refiriendo la Gráfica 1 en la Figura 3.12, se toma como la estabilidad, el más alto en un contenido de asfalto que de 4.8%. La gráfica 3 muestra que un contenido de asfalto de 5.1 % resulta que es el más grande peso unitario. La gráfica 4 muestra que un contenido de asfalto de 4.3 por ciento produce contenido de vacíos de 4 % - lo mediano para una mezcla de superficie de tráfico pesado (Ver criterio de diseño Marshall, abajo).

Tomando el promedio de los tres porcentajes, se produce el contenido de asfalto óptimo,

Así:

$$4.8\% + 5.1\% + 4.3\% = 14.3\% / 3 = 4.7\% \text{ contenido de asfalto óptimo}$$

### 3.9.4. Verificando criterios de diseño

Cuando el contenido de asfalto óptimo ha sido determinado de los datos de prueba Marshall, esto debe ser revisado para satisfacer el criterio de diseño Marshall. El primer paso haciendo esto es encontrar qué el contenido de asfalto óptimo (en el caso del ejemplo de 4.7%) significa en términos de propiedades. Refiriéndose de nuevo a las gráficas en Figura 3.12, se muestra que un contenido de asfalto de 4.7 % indica los siguientes valores de propiedad:

- |  |                     |
|--|---------------------|
| • estabilidad (Gráfica 1)                  | 1,880 lb. (8,363 N) |
| • flujo(Gráfica 2)                         | 9.0                 |
| • porcentaje de vacíos de aire (Gráfica 4) | 3.0                 |

Ahora se pueden comparar los valores para las tres propiedades con los valores recomendados por el Instituto de Asfalto para El Criterio de Diseño Marshall (Tabla 3.13). El valor de estabilidad de 1,880 libras (8,363 N) excede el criterio mínimo de 1,800 libras. El valor de flujo de 9 fallas está dentro del rango de criterio de 8 a 14. El porcentaje de vacíos de aire de 3.0 satisface el límite más bajo de 3.

El porcentaje de asignación mínima de vacíos en agregado mineral puede también ser revisado usando Tabla 3.14 y comparando esto a los VMA de la graduación de agregado específico.

| Criterio de Mezcla<br>Método Marshall                | Tráfico liviano<br>Superficie & Base |      | Tráfico Medio<br>Superficie & Base |      | Tráfico pesado<br>Superficie & Base |      |
|--|--------------------------------------|------|------------------------------------|------|-------------------------------------|------|
|  | Min.                                 | Max. | Min.                               | Max. | Min.                                | Max. |
| Compactación, número de golpes cada uno de espécimen |                                      | 35   |                                    | 50   |                                     | 75   |
| Estabilidad, Lb (*N)                                 | 750<br>3336                          | --   | 1200<br>5338                       | --   | 1800<br>8006                        | --   |
| Flujo, 0.25 mm (0.01 pulg)                           | 8                                    | 16   | 8                                  | 16   | 8                                   | 14   |
| Porcentaje de Vacíos de aire                         | 3                                    | 5    | 3                                  | 5    | 3                                   | 5    |
| Porcentaje de Vacíos en Agregado Minera (VMA)        | ver tabla 3.14                       |      |                                    |      |                                     |      |

FIGURA 3.13 Criterio de Diseño Marshall Instituto de Asfalto

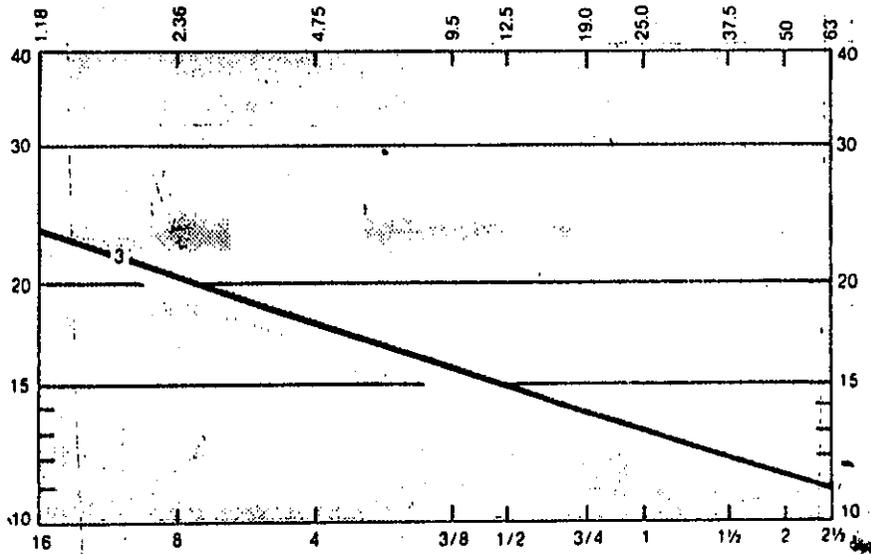


FIGURA 3.14 Porcentaje mínimo de VMA

## CAPITULO 4

### 4. PRUEBAS DE LABORATORIO Y RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS MATERIALES EMPLEADOS EN EL PRESENTE TRABAJO

#### 4.1. ENSAYOS CON EL CEMENTO ASFALTICO

Entre las pruebas de laboratorio realizados con los materiales usados en el presente trabajo, están, en primer lugar, las que se hicieron al Cemento Asfáltico y cuyo procedimiento se ha descrito en capítulos anteriores.

Según la especificación que rige los ensayos a los Cemento Asfáltico 60-70 es la AASHTO M 20 (Capítulo 1, Tabla 1.3).

##### 4.1.1. Gravedad específica a 77 Grados Fahrenheit.

| Frasco No. | Tara  | P.B.  | P.N.A. | Tara + Agua | Vol. B. | Tara+Mat.+Agua |        |                 |            |
|------------|-------|-------|--------|-------------|---------|----------------|--------|-----------------|------------|
| 7          | 30.21 | 46.10 | 15.89  | 56.61       | 28.40   | 58.84          |        |                 |            |
| 8          | 31.09 | 49.17 | 18.08  | 58.37       | 27.28   | 58.64          |        |                 |            |
| 9          | 27.90 | 44.93 | 17.03  | 56.07       | 28.16   | 56.31          |        |                 |            |
|            |       |       |        |             |         |                | Vol. C | Grav. Esp. Mat. | Prom. G.E. |
|            |       |       |        |             |         |                | 12.72  | 1.01469         |            |
|            |       |       |        |             |         |                | 9.47   | 1.01515         | 1.014913   |
|            |       |       |        |             |         |                | 11.38  | 1.01489         |            |

Gravedad específica del cemento asfáltico: 1.015

##### 4.1.2. Penetración original a 25°C, 100gr., 5 seg.

| Ens. No. | Lect.1 | Lect.2 | Lect. 3 | Prom. | Prom. de Prom. | Penetración |
|----------|--------|--------|---------|-------|----------------|-------------|
| 1        | 66     | 66     | 67      | 66    | 67             | 67          |
| 2        | 67     | 67     | 67      | 67    |                |             |

Penetración original: 67 décimas de milímetro.

#### 4.1.3 Pérdida por calentamiento.

| Ens. No. | Tara  | P.B.1  | P.N.1 | P.B.2  | Dif. | % Perd | Promedio % |
|----------|-------|--------|-------|--------|------|--------|------------|
| 1        | 62.05 | 115.85 | 53.77 | 115.73 | 0.12 | 0.22   |            |
| 2        | 62.02 | 112.22 | 50.20 | 112.11 | 0.12 | 0.22   | 0.24       |
| 3        | 68.81 | 116.08 | 53.27 | 115.93 | 0.15 | 0.28   |            |

$$\text{Pérdida por calentamiento} = \frac{\text{Diferencia} * 100}{\text{P.N.1}}$$

Pérdida por calentamiento: 0.24

#### 4.1.4 Penetración al residuo de la pérdida por calentamiento.

| Ens. No. | Lect. 1 | Lect. 2 | Lect. 3 | Prom. | Prom. de Prom | Penetr. |
|----------|---------|---------|---------|-------|---------------|---------|
| 1        | 62      | 61      | 60      | 61    |               |         |
|          |         |         |         |       | 60            | 60      |
| 2        | 60      | 64      | 60      | 60    |               |         |

Penetración al residuo: 60

#### 4.1.5. Ductilidad.

| Ensayo No. | Centímetro |
|------------|------------|
| 1          | mas de 150 |
| 2          | mas de 150 |
| 3          | mas de 150 |

#### 4.1.6. Punto de llama.

| Ensayo No. | Grados Fahrenheit |
|------------|-------------------|
| 1          | 591.8             |
| 2          | 591.8             |

#### 4.1.7. Punto de combustión.

| Ensayo No. | Grados Fahrenheit |
|------------|-------------------|
| 1          | 683.6             |
| 2          | 683.6             |

## 4.2. ENSAYO A LOS AGREGADOS

El agregado pétreo debe consistir en piedra o grava, trituradas de buena calidad combinada con arenas, polvo de roca, naturales o de trituración y polvo mineral.

Para el presente trabajo se trabajaron cuatro diferentes tipos de agregados de producción nacional, para lo cual se elaboraron los ensayos necesarios, para así, determinar si cumplen con las especificaciones; dentro de los agregados están:

- piedrin de 3/4"
- piedrin de 3/8"
- piedrin de 1/4"
- polvo mineral

| Ensayo                        | 3/4" Esp.   | 3/8"        | 1/4"        | Polvo Mineral | Especificación                     |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|------------------------------------|
| Abrasión                      | 25.38%      | 21.9%       | 29.52%      | 25.46%        | No mayor 40%                       |
| Caras fracturadas             | mas del 90% | mas del 90% | mas del 90% | mas del 90%   | No menor 90%                       |
| Impureza                      | No Hay      | No Hay      | No Hay      | No Hay        | No debe tener                      |
| Gravedad específica           | 2.68        | 2.64        | 2.61        | 2.60          |                                    |
| Peso unitario                 | 1369.85     | 1660.71     | 1677.85     | 1762.00       | No Menor de 1360 kg/m <sup>3</sup> |
| Resistencia al desvestimiento | Mas del 70% | Mas del 70% | Mas del 70% | Mas del 70%   | No menos del 70%                   |
| % de Vacíos en agregados      | 52.61%      | 37.09%      | 35.71%      | 32.23%        | Tabla cap. 3<br>3.2                |

Estos son los ensayos de mayor importancia, que hay que elaborar, para determinar la calidad de un agregado, estos agregados si están en buenas condiciones para ser utilizado en una mezcla asfáltica. De los cuatro agregados, la mayoría cumplió con los requisitos de D.G.C. ( la cual no dá los diferentes requisitos que hay que cumplir con los agregados, en la construcción de carreteras en Guatemala).

El único ensayo que hacía falta era el de la graduación que a continuación se dá a conocer. Resultado para los agregados.

### Graduación de piedrin de 3/4"

| Tamiz  | P.B.R. | P.N.R. | % Retenido | % Pasa |
|--------|--------|--------|------------|--------|
| 3/4    | 0      | 0      | 0          | 100.00 |
| 1/2    | 470    | 205    | 19.9       | 80.1   |
| 3/8    | 737    | 472    | 45.8       | 54.2   |
| No. 4  | 1182   | 917    | 88.9       | 11.1   |
| No.8   | 1247   | 982    | 95.2       | 4.8    |
| No.30  | 1263   | 998    | 96.8       | 3.2    |
| No.50  | 1267   | 1002   | 97.2       | 2.8    |
| No.100 | 1270   | 1005   | 97.5       | 2.5    |
| No.200 | 1273   | 1008   | 97.8       | 2.2    |

Fecha: 26 de abril de 1,996

Procedencia: Pilas de planta de Padegua

Muestra: Piedrin 3/4"

P.B.S.: 1296 gr.

Tara: 265 gr.

P.N.S.: 1031 gr.

### Graduación piedrin 3/8"

| Tamiz  | P.B.R. | P.N.R. | % RETENIDO | % PASA |
|--------|--------|--------|------------|--------|
| 1/2    | 0      | 0      | 0          | 100.00 |
| 3/8    | 325    | 60     | 5.9        | 94.1   |
| No.4   | 789    | 524    | 51.6       | 48.4   |
| No.8   | 1124   | 859    | 84.6       | 15.4   |
| No.30  | 1247   | 982    | 96.7       | 3.3    |
| No.50  | 1258   | 993    | 97.8       | 2.2    |
| No.100 | 1261   | 996    | 98.1       | 1.9    |
| No.200 | 1268   | 1003   | 98.8       | 1.2    |

Fecha: 26 de abril de 1,996

Procedencia: Pilas de planta de Padegua.

Muestra: piedrin 3/8"

P.B.S.: 1280 gr.

Tara: 265 gr.

P.N.S.: 1015 gr.

### Graduación de piedrin 1/4"

| Tamiz  | P.B.R. | P.N.R. | % RETENIDO | % PASA |
|--------|--------|--------|------------|--------|
| 3/8    | 265    | 2      | 0.2        | 99.8   |
| No.4   | 373    | 110    | 10.3       | 89.7   |
| No.8   | 710    | 447    | 41.7       | 58.3   |
| No.30  | 1091   | 828    | 77.2       | 22.8   |
| No.50  | 1192   | 929    | 86.6       | 13.4   |
| No.100 | 1267   | 1004   | 93.6       | 6.4    |
| No.200 | 1303   | 1040   | 96.9       | 3.1    |

Fecha: 26 de abril de 1,996

Procedencia: Pilas de planta de Padegua.

Muestra: piedrin 1/4"

P.B.S.: 1336 gr.

Tara: 263 gr.

P.N.S.: 1073 gr.

### Graduación del polvo mineral

| Tamiz  | P.B.R. | P.N.R. | % RETENIDO | % PASA |
|--------|--------|--------|------------|--------|
| 3/8    | 267    | 4      | 0.4        | 99.6   |
| No.4   | 395    | 132    | 12.1       | 87.9   |
| No.8   | 732    | 469    | 43         | 57     |
| No.30  | 1058   | 795    | 72.9       | 27.1   |
| No.50  | 1130   | 867    | 79.5       | 20.5   |
| No.100 | 1178   | 915    | 83.9       | 16.1   |
| No.200 | 1214   | 951    | 87.2       | 12.8   |

Fecha: 26 de abril de 1,996

Procedencia: Pilas de planta de Padegua.

Muestra: Polvo mineral.

P.B.S.: 1353 gr.

Tara: 263 gr.

P.N.S.: 1090 gr.

#### 4.2.1. Mezcla de los materiales

Teniendo la graduación de los cuatro agregados se prosigue a mezclarlo, adecuadamente, de tal manera que se tenga una graduación que cumpla con las especificaciones de agregados.

La especificación que se tomará en cuenta son las D.G.C. y las del Instituto de Asfaltos MS-2.

Mezclando, proporcionalmente, los cuatro agregados se tiene la siguiente graduación:

| Tamiz  | P.B.R | P.N.R | % Ret, | % Pasa | Especificación<br>Libro azul |
|--------|-------|-------|--------|--------|------------------------------|
| ¾      | 0     | 0     | 0      | 100    | 100.                         |
| ½      | 408   | 143   | 11.9   | 88.1   | 80 - 100                     |
| 3/8    | 476   | 211   | 17.6   | 82.4   | 70 - 90                      |
| No.4   | 627   | 362   | 30.2   | 69.8   | 50 - 70                      |
| No.8   | 929   | 664   | 55.3   | 44.7   | 35 - 50                      |
| No.30  | 1231  | 966   | 80.5   | 19.5   | 18 - 29                      |
| No.50  | 1303  | 1038  | 86.5   | 13.5   | 13 - 23                      |
| No.100 | 1353  | 1088  | 90.7   | 9.3    | 8 - 16                       |
| No.200 | 1383  | 1118  | 93.2   | 6.8    | 4 - 10                       |

Habiendo hecho esta combinación de materiales se pudo obtener una muestra que reúna las condiciones específicas, de todas las combinaciones que se elaboraron, ésta fue la que más se adapta a especificaciones.

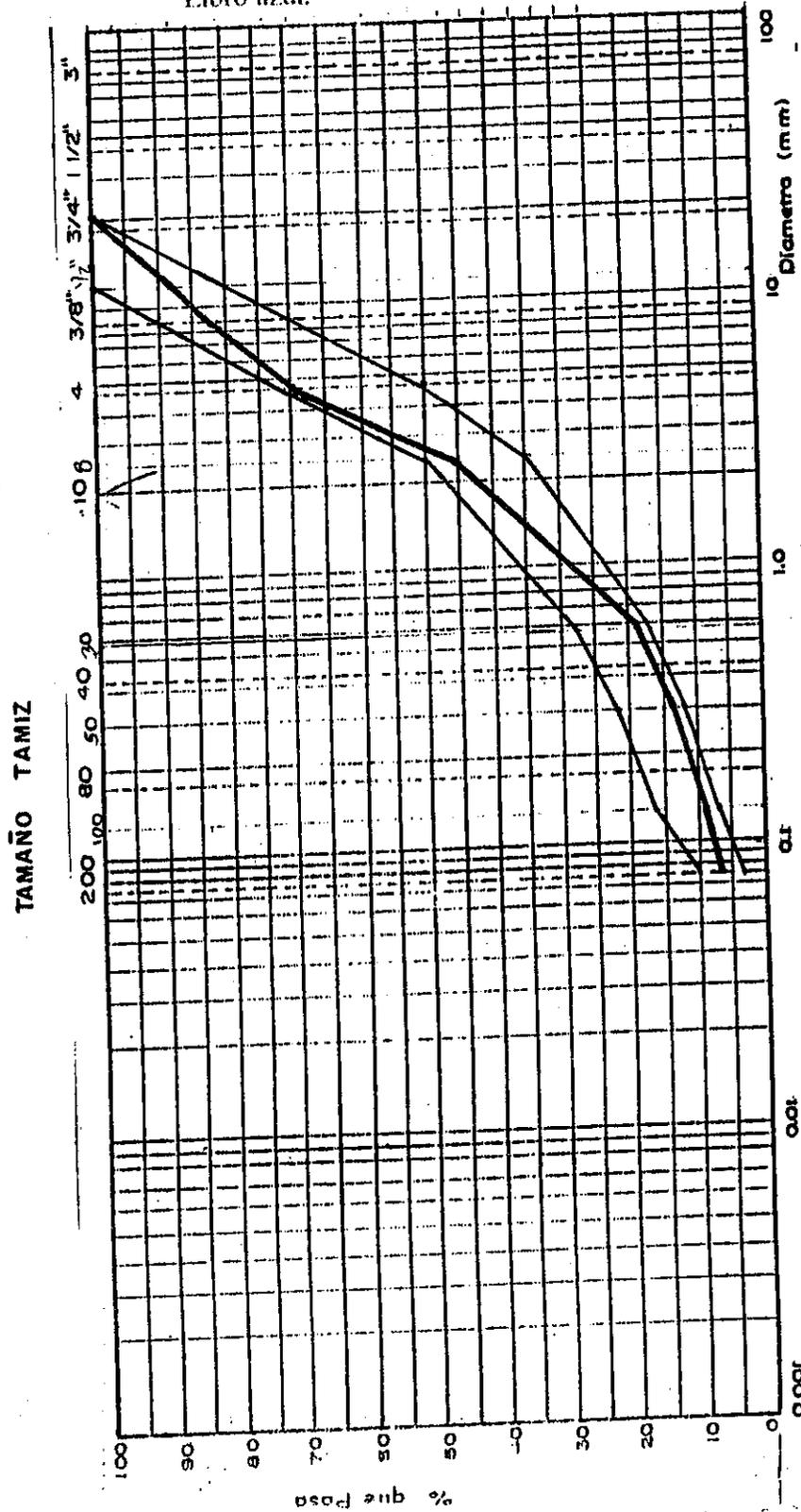
Piedrin ¾".....21%  
 Piedrin 3/8".....10%  
 Piedrin 1/4".....26%  
 Polvo mineral.....43%

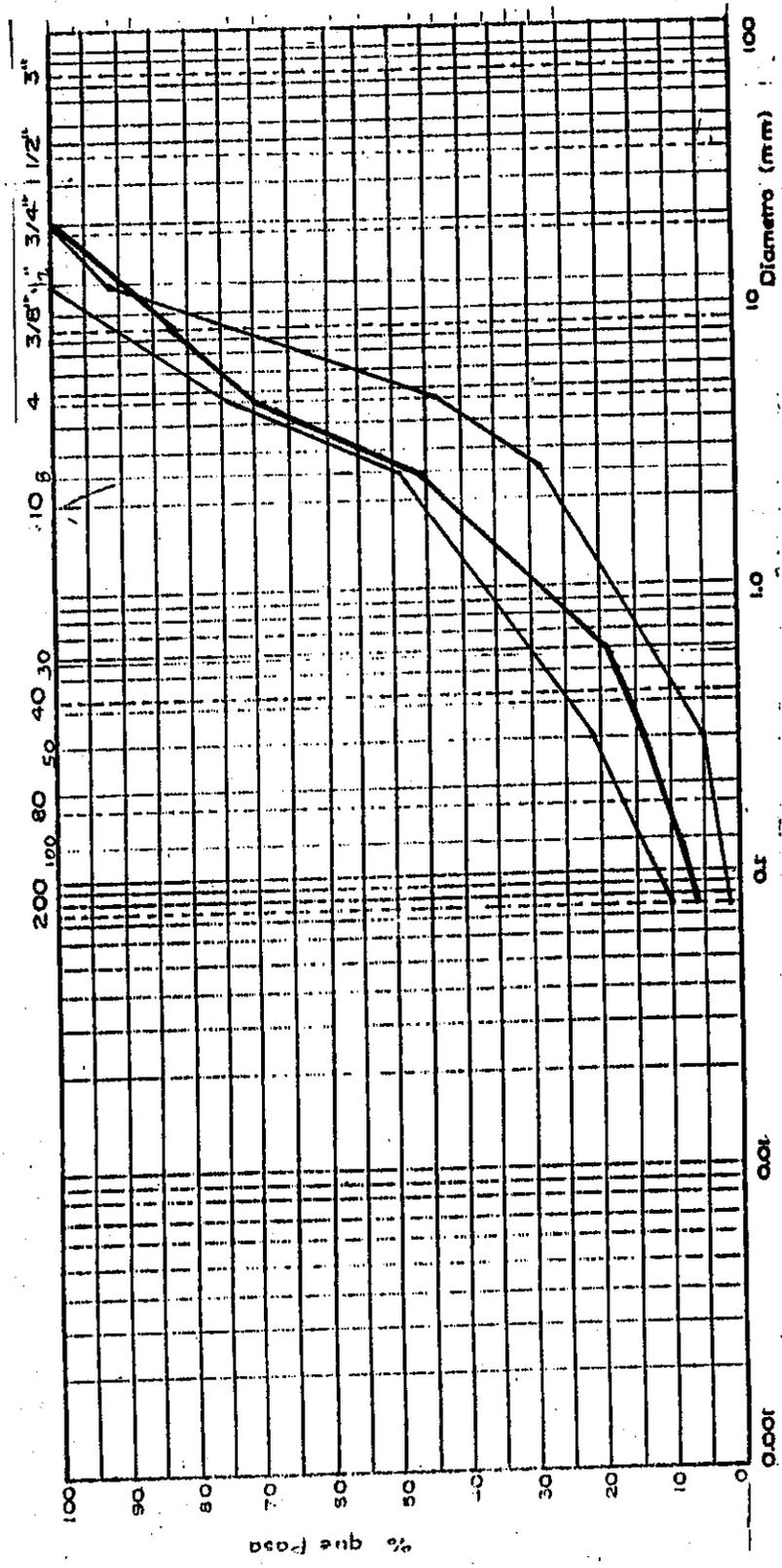
Ya teniendo la mezcla adecuada para el concreto Asfáltico, se elabora la gráfica de graduación del agregado, donde el material tendrá que entrar dentro de los límites de las especificaciones de D.G.C. como el del Instituto de asfalto. Y, así, seguir determinando la cantidad de asfalto óptimo que requiere la mezcla.

Como se puede observar en la grafica 4.1 la curvan entra dentro de los limites que tiene contemplados la D.G.C. y, en grafica 4.2 la curva no entra dentro de las especificaciones del Instituto de Asfalto, eso nos da como referencia que las especificaciones del instituto de asfaltos son mas rigidas.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Gráfica 4.1 graduación del material utilizando especificaciones del Libro azul.





### 4.3. FABRICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA

Como se ha decidido, la clase de agregados que se usará en la mezcla, lo mismo que del cemento asfáltico, se procede a mezclarlos para obtener el concreto asfáltico que se desea.

la forma de mezclarlos en el laboratorio se describe a continuación.

Se procede a calentar los materiales granulares por separado, hasta obtener en ellos una temperatura entre 300 y 375 grados Fahrenheit, lo cual se logra dejando los materiales en un horno, durante 24 hrs. En el momento de hacer la mezcla, debe calentarse el cemento asfáltico para diluirlo, ya que éste se encuentra endurecido.

Los materiales y el asfalto deben conservar una temperatura entre los 300 y 350 grados Fahrenheit, antes de pasar a la operación siguiente.

Colocados los materiales en la balanza se les hace un cráter donde se deposita en Cemento Asfáltico en la cantidad determinada según el porcentaje que se desea añadir.

La balanza registrará directamente la cantidad conveniente de asfalto a depositar, hasta alcanzar el peso que corresponde a esa muestra. En general, conviene lograr proporciones de áridos-asfalto con un peso aproximado de 1,100 gramos, con lo cual se logra que en los especímenes, no haya defecto o exceso de material en el molde.

Luego de adición del asfalto a los agregados, se mezclan, cuidadosamente, utilizando una paleta o un mezclador de metal. Esta mezcla debe verificarse durante 3 minutos, máximo, tratando de obtener una mezcla uniforme, cuya temperatura no deberá ser menor de 250 grados Fahrenheit.

Una vez mezclados los materiales, debe procederse de inmediato a la fabricación de la piezas de prueba. Debe cuidarse que para, entonces, el martillo y los moldes de compactación estén debidamente limpios y listos. Pueden limpiarse con un producto como la gasolina y, después, agregarles aceite para así sacar los especímenes sin dañarlos.

Los 1,100 gramos de mezcla asfáltica se colocan en el molde. Luego, se apisona la superficie con una cuchara, para confinarlos y aplanar su cara superior (25 veces) se termina de montar el aparato y se procede a la compactación.

El aparato es un compactador Marshall, con el que se le aplican 75 golpes (para este trabajo se dedujo que era para tráfico pesado) a cada una de las dos caras de la briqueta. Terminada la compactación de las muestras, se extraen del molde y se dejan enfriar las briquetas. Transcurrido el tiempo necesario para su enfriamiento, generalmente, de 48 a 72 horas, las briquetas están listas para la prueba de estabilidad y la fluencia Marshall.

En el presente trabajo para el diseño de la mezcla se elaboraron tres probetas con diferentes % de asfalto, habiendo recomendado, los siguientes porcentajes: 4.5 , 5.0 , 5.5 , 6.0 , 6.5%.

Siendo necesario calcular la cantidad de asfalto que requerían las briquetas y habiéndose adoptado un peso de 1,100 gramos para las muestras, ya que se expresa, anteriormente, en esa forma no hay exceso ni defecto en el molde, la cantidad de asfalto se calculó por la fórmula siguiente:

$$A = \frac{\% \text{ de Asfalto} * 1100}{\% \text{ de agregado}}$$

Tomando como ejemplo el de 4.5% de asfalto, se obtuvo:

$$A = \frac{4.5 * 11000}{95.5} = 51.83 \text{ gramos de Asfalto.}$$

En igual forma se calculó el peso necesario para un 5.0%, 5.5%, 6.0% y 6.5%, obteniéndose las siguientes proporciones:

| % de Asfalto | Cant. Asf. | % de Agregado | Cant. Agregado |
|--------------|------------|---------------|----------------|
| 4.5          | 51.83      | 95.5          | 1048.17        |
| 5.0          | 57.89      | 95.0          | 1042.11        |
| 5.5          | 64.02      | 94.5          | 1035.98        |
| 6.0          | 70.21      | 94.0          | 1029.79        |
| 6.5          | 76.47      | 93.5          | 1023.53        |

#### 4.4. ENSAYO DE LAS BRIQUETAS.

Cuando se fabricaron los especímenes de prueba, con los diferentes porcentajes de asfalto, fueron sometidos al ensayo de estabilidad y fluencia Marshall.

La siguiente tabla presenta las diferentes especificación que requiere tanto la D.G.C. que data del año de 1973 y las del Instituto de Asfalto de 1992.

| Propiedad                        | D.G.C.<br>1973 | Instituto de Asfaltos<br>1992 |
|----------------------------------|----------------|-------------------------------|
| % de Densidad Teórica            | 95 - 97        |                               |
| % de Vacíos de aire en la mezcla | 3 - 8          | 3 - 5                         |
| % de vacíos del relleno          |                | 70 - 85                       |
| Estabilidad Marshall             | 1000 - 3800    | 1800 mínimo                   |
| Plasticidad 1/100" (flujo)       | 8 - 18         | 8 - 14                        |

#### 4.4.1. Ensayo de estabilidad y flujo Marshall

De la primera Muestra sin llevar un control del Filler

| % de Asf. | Lect. Microm. | Carga # | Prom # | Flujo | Prom. Flujo |
|-----------|---------------|---------|--------|-------|-------------|
| 4.5       | 180           | 2900    |        | 15    |             |
| 4.5       | 170           | 2750    | 2850   | 16    | 15          |
| 4.5       | 180           | 2900    |        | 15    |             |
| 5.0       | 218           | 3550    |        | 17    |             |
| 5.0       | 168           | 2700    | 3133   | 15    | 16          |
| 5.0       | 193           | 3150    |        | 18    |             |
| 5.5       | 148           | 2350    |        | 12    |             |
| 5.5       | 171           | 2750    | 2733   | 13    | 13          |
| 5.5       | 191           | 3100    |        | 15    |             |
| 6.0       | 151           | 2450    |        | 17    |             |
| 6.0       | 162           | 2600    | 2583   | 16    | 17          |
| 6.0       | 168           | 2700    |        | 19    |             |
| 6.5       | 163           | 2600    |        | 20    |             |
| 6.5       | 139           | 2200    | 2433   | 20    | 20          |
| 6.5       | 157           | 2500    |        | 19    |             |

#### 4.4.2. Densidad de las briquetas de prueba

| % de Asf. | Peso Aire | Peso Agua | Volumen | Densidad | Promedio |
|-----------|-----------|-----------|---------|----------|----------|
| 4.5       | 1084.6    | 627.4     | 457.2   | 2.37     |          |
| 4.5       | 1087.4    | 635.3     | 452.1   | 2.40     | 2.40     |
| 4.5       | 1067.5    | 628.2     | 439.3   | 2.43     |          |
| 5.0       | 1083.1    | 638.6     | 444.5   | 2.43     |          |
| 5.0       | 1078.9    | 633.1     | 445.8   | 2.42     | 2.42     |
| 5.0       | 1087.0    | 638.6     | 448.4   | 2.42     |          |
| 5.5       | 1092.5    | 638.7     | 453.8   | 2.40     |          |
| 5.5       | 1093.6    | 639.7     | 453.9   | 2.40     | 2.40     |
| 5.5       | 1092.4    | 637.8     | 454.6   | 2.40     |          |
| 6.0       | 1076.5    | 627.6     | 448.9   | 2.39     |          |
| 6.0       | 1077.1    | 626.5     | 450.6   | 2.39     | 2.38     |
| 6.0       | 1063.5    | 615.1     | 448.4   | 2.37     |          |
| 6.5       | 1083.4    | 629.1     | 454.3   | 2.38     |          |
| 6.5       | 1080.4    | 627.8     | 452.6   | 2.38     | 2.38     |
| 6.5       | 1073.6    | 623.8     | 449.8   | 2.38     |          |

#### 4.4.3. Cálculo de densidad teórica Y peso unitario

$$\text{Densidad teórica} = \frac{100}{\frac{\% \text{Agre.}}{\text{G.E. Agre.}} + \frac{\% \text{Asf.}}{\text{G.E. Asf.}}}$$

$$\begin{aligned} \text{G.E. Agregado} &= 2.65 \\ \text{G.E. Asfalto} &= 1.015 \end{aligned}$$

$$\text{Peso unitario} = \text{Densidad teórica} * 62.4$$

| % Agregado | % de Asfalto | D.T. | %DT   | P.U.  |
|------------|--------------|------|-------|-------|
| 95.5       | 4.5          | 2.47 | 97.16 | 154.8 |
| 95.0       | 5.0          | 2.45 | 98.77 | 152.8 |
| 94.5       | 5.5          | 2.43 | 98.76 | 151.6 |
| 94.0       | 6.0          | 2.41 | 98.75 | 150.3 |
| 93.5       | 6.5          | 2.39 | 99.58 | 149.1 |

La especificación marca que el % DT está dentro de 95% - 97% por lo tanto, esta mezcla en su mayoría, está fuera de especificación.

#### 4.4.4. Cálculo de vacíos de aire en la mezcla total

$$\% \text{ Vacíos mezcla total} = \frac{100 * (DT - d)}{DT}$$

DT= Densidad teórica

d= Densidad de briquetas

| % de Asfalto | DT   | d    | % Vacíos en La Mezcla Total |
|--------------|------|------|-----------------------------|
| 4.5          | 2.47 | 2.40 | 2.83                        |
| 5.0          | 2.45 | 2.42 | 1.22                        |
| 5.5          | 2.43 | 2.40 | 1.23                        |
| 6.0          | 2.41 | 2.38 | 1.24                        |
| 6.5          | 2.39 | 2.38 | 0.41                        |

La especificación marca que, el % de vacíos de aire en la mezcla total; debe estar comprendido entre 3% - 5%. Por lo tanto, esta mezcla está fuera de especificación.

#### 4.4.5. Análisis de resultados:

Como se presenta la mezcla propuesta no está cumpliendo con las especificaciones dadas, por tal motivo, se analizarán los resultados que hasta ahora se llevan, y se tomarán en cuenta para la elaboración de una mejor mezcla.

Tomando en cuenta los pocos vacíos de aire en la mezcla total y una cantidad elevada de flujo, es el reflejo de una mala graduación en los agregados. Dió como resultado de la briquetas una apariencia pegajosa y plástica que es por la expulsión del asfalto debido a la carencia de los vacíos en la mezcla total y por los valores grandes de flujo que tienden a dar como resultado en el pavimento el distorcionamiento fácil de la carpeta bajo cargas de tránsito.

Para incrementar los vacíos en la mezcla total y tener un mejor flujo es necesario hacer un ajuste en la mezcla. Este ajuste consiste en incrementar los VMA (Vacíos en el agregado mineral) incorporando, ya sea agregados ordinarios o finos adicionales a la mezcla. Incrementando VMA proveerá mayor espacio en la mezcla para, vacíos de aire en la mezcla total. Otra forma sería bajar el contenido de asfalto, esto sólo se puede, hacer si existe un exceso de asfalto, pero, como lo que se busca es la cantidad óptima de asfalto, mejor se optará por incrementar los VMA.

Para incrementar los VMA es necesario elaborar otra graduación, con la única diferencia que se hará tomando en cuenta la Graduación del Filler y mezclarlos por separado a los agregados gruesos, para, así, tener una mezcla con mejor apariencia, ya que la que tenía la primera era demasiado fina, porque, sus cuatro agregados presentaban en sus granulometrias demasiado finos.

También se tomará en cuenta en primer lugar la especificación del Instituto de Asfalto MS-2, ya que es más riguroso y estricto en ese sentido porque no da mucha holguras en la graduación.

#### 4.5. PROPUESTA DE UNA NUEVA MEZCLA MEJORANDO LOS AGREGADOS

##### 4.5.1. Ensayos a Filler según especificación AASHTO M17

###### 4.5.1.1. Granulometria:

| Tamiz   | P.B.R. | P.N.R. | % Ret. | % Pasa | Especificación |
|---------|--------|--------|--------|--------|----------------|
| No. 30  | 0      | 0      | 0      | 100    | 100            |
| No. 50  | 278    | 15     | 3      | 97     | 95 - 100       |
| No. 200 | 363    | 100    | 20     | 80     | 70 - 100       |

P.B.S.: 763 grs.

Tara : 263 grs.

P.N.S.: 500 grs.

#### 4.5.1.2. Índice plástico.

En el ensayo de índice plástico dio como resultado que tenía un índice de 3.5, y se califica como un limo color Beige. También con este mismo ensayo se pudo obtener el límite líquido que fue de 25 el cual cumple con las especificaciones.

#### 4.5.1.3. Impureza.

Por ser un limo no contenía arcilla, ni materia vegetal, por lo tanto, se puede decir que no tenía impurezas.

#### 4.5.1.4. Equivalente de arena.

Nos dio como resultado en el laboratorio que el filler tiene un valor considerable de contenido de arena que es de 40 y es por eso que refleja un valor alto en el índice plástico ya que contiene bastante arena.

#### 4.5.2 Propuesta de una nueva graduación haciendo los ajustes necesarios:

| Tamiz  | P.N.R. | % Ret. | % PASA | ESPECIFICACIÓN<br>Instituto de Asfalto |
|--------|--------|--------|--------|--|
| 3/4    | 0      | 0      | 100.00 | 100                                    |
| 1/2    | 55     | 5      | 95.00  | 100 - 90                               |
| No.4   | 440    | 40     | 60.00  | 74 - 44                                |
| No.8   | 660    | 60     | 40.00  | 28 - 58                                |
| No.50  | 935    | 85     | 15.00  | 5 - 21                                 |
| No.200 | 1034   | 94     | 6.00   | 2 - 10                                 |

Como se puede observar, habiéndole hecho, el ajuste a la mezcla, que consistió en mezclar el filler por separado, ésta proporcionó una mezcla que entrara mejor en la curva de calibración como se puede ver en la gráfica 4.3 y 4.4.

#### 4.5.3. Ensayos a la nueva graduación de mezcla de agregados.

Para verificar si la nueva mezcla propuesta, puede ser calificada para utilizarse en la elaboración del concreto asfáltico, es necesario hacerle una serie de pruebas y los resultados, compararlos con las especificaciones requeridas.

##### 4.5.3.1. Gravedad Específica:

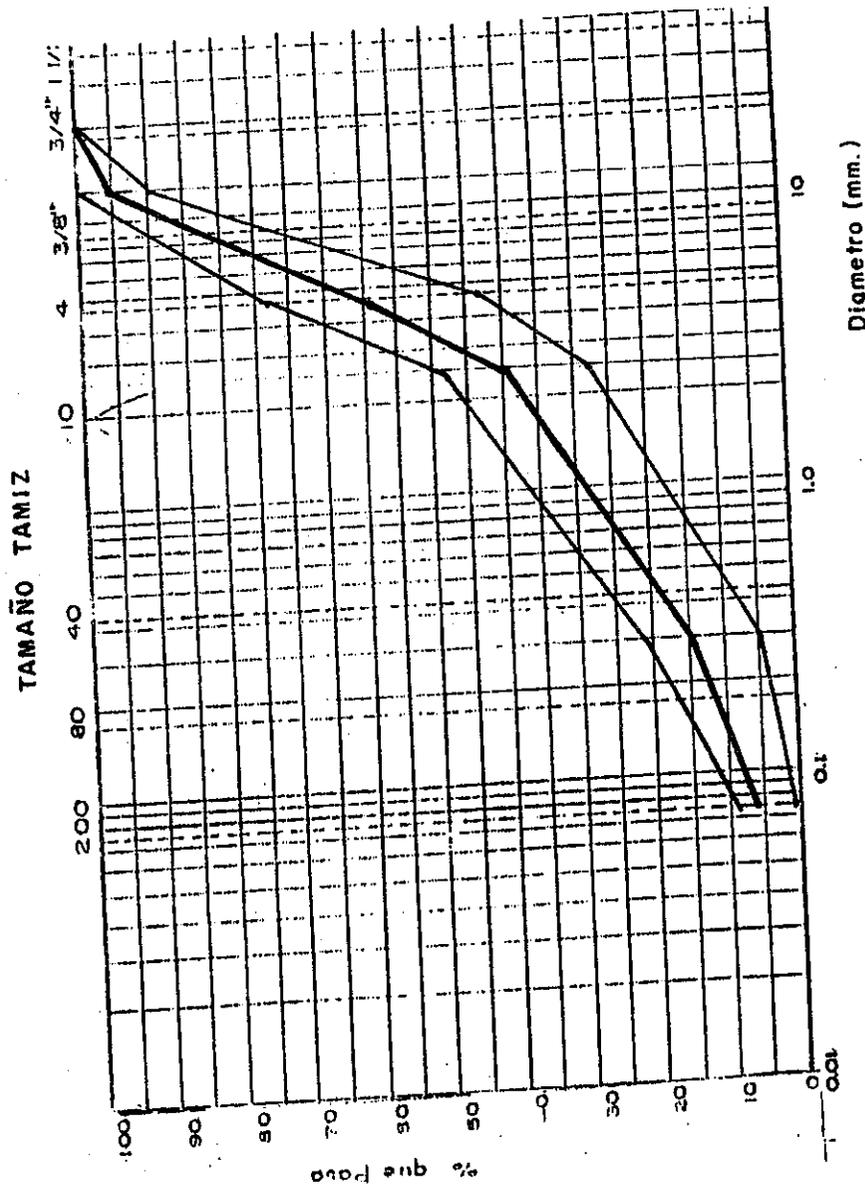
Este ensayo se llevara a cabo por que el resultado ayudará para el cálculo de las propiedades de la mezcla.

Para llevar a cabo este ensayo, se partió en dos, sacando dos gravedades específicas una para agregados finos y otra para agregados gruesos:

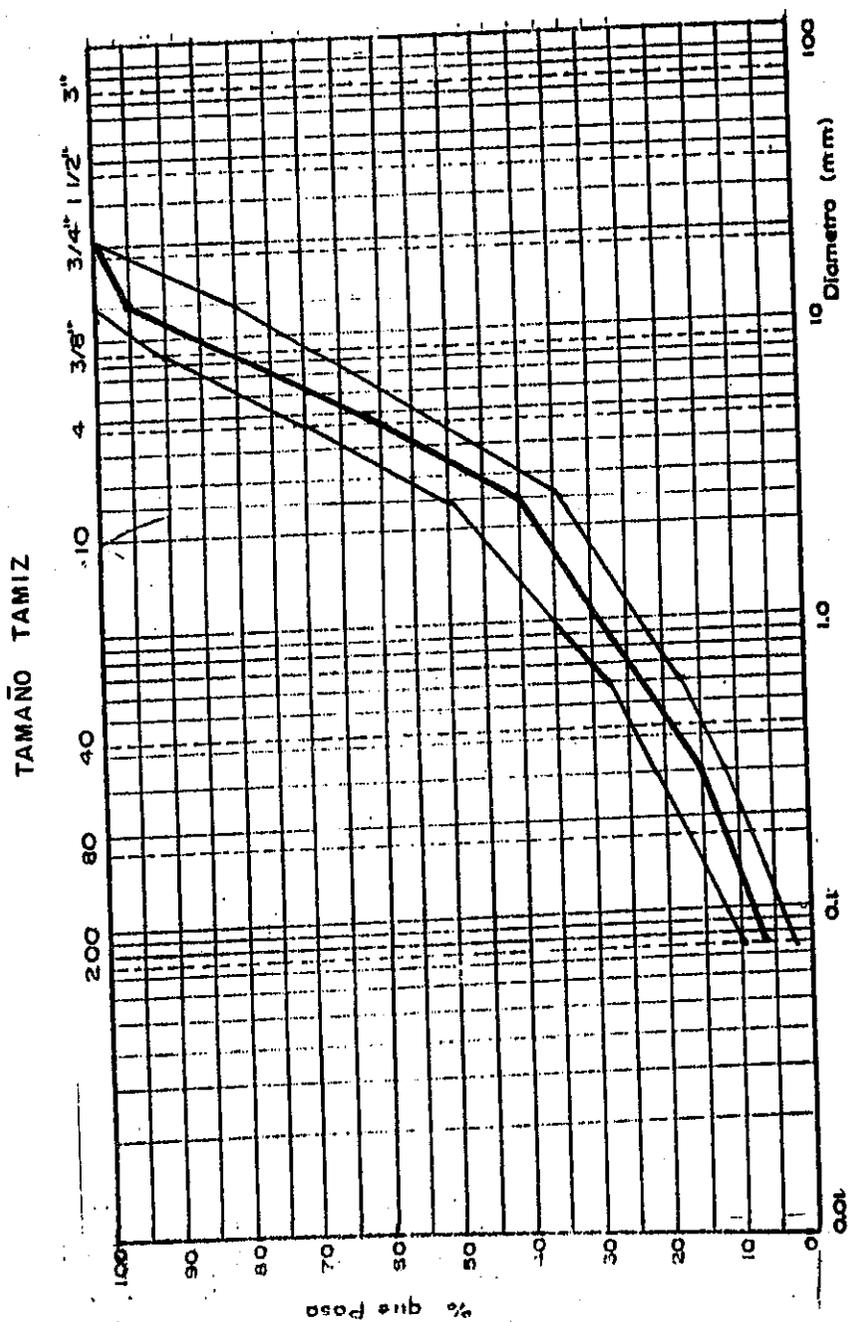
- gravedad específica agregado fino ( para Tamiz No.4) = 2.53
- gravedad específica agregado grueso ( retenido Tamiz No. 4) = 2.58

La gravedad específica del agregado se obtiene del promedio de las dos gravedades específicas anteriormente calculadas, el cual de un valor de 2.56

Gráfica 4.3 graduación de la nueva mezcla dentro de la especificación del Instituto de Asfaltos.



Gráfica 4.4 graduación de la nueva mezcla dentro de los límites de especificación del Libro azul.



#### 4.5.3.2. Absorción.

- A. Tara = 232.5 gr.
- B. Peso Húmedo = 732.8 grs.
- C. Peso Seco = 727.8 grs.
- D. Peso Neto Húmedo = 500.3 grs.
- E. Peso Neto Seco = 495.3 grs.

$$\% \text{ Absorción } = \frac{D - E}{E} \cdot 100 = \frac{500.3 - 495.3}{495.3} \cdot 100 = 1.00\%$$

#### 4.5.3.3. Abrasión.

Para este ensayo se utilizó una gradación Tipo B, utilizando 11 esferas. La especificación según la AASHTO T-96 no debe tener un porcentaje mayor de 40 % de desgaste.

Peso Inicial = 5000 grs.

Peso Final = 3881 grs.

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{5000 - 3881}{5000} \cdot 100 = 22.38\%$$

#### 4.5.3.4. Caras fracturadas.

Tienen más del 90 % del peso de las partículas retenidas en el tamiz No. 8, tienen una cara fracturada.

#### 4.5.3.5. Impureza.

No contienen materia vegetal, basura y arcilla, por lo tanto, no contienen impurezas.

#### 4.5.3.6. Peso unitario.

La especificación de la AASHTO T-19 indica que el peso unitario de los agregados no debe ser menor de 85 lbs/ pie cúbico ( 1360 kilogramos/metro cúbico)

$$P.U. = \frac{\text{Peso material}}{\text{Volumen matras}}$$

Peso recipiente 3500 grs.

Peso recip. + material = 15469.00 grs.

Peso material = 11969.00 grs.

Volumen del recipiente = 7 litros.

$$P.U. = 11969/7 = 1760.85 \text{ Kg/pie cúbico}$$

#### 4.5.3.7. Índice de plasticidad y límite líquido.

| Ensayo    | Límite Líquido |       | Límite Plástico |       |
|-----------|----------------|-------|-----------------|-------|
|           |                |       |                 |       |
| Golpes    | 35             | 35    |                 |       |
| Tarro     | c-1            | c-36  | c-4             | c-39  |
| PBH grs.  | 39.6           | 42.3  | 32.7            | 32.6  |
| PBS grs.  | 35.8           | 37.8  | 30.8            | 30.7  |
| Tara grs. | 29.58          | 24.35 | 24.75           | 24.60 |
| Dif grl   | 3.8            | 4.5   | 1.9             | 1.9   |
| PNS gr.   | 11.32          | 13.45 | 6.25            | 6.11  |
| Humedad   | 33.9           | 33.4  | 31.2            | 31.1  |
| Promedio  | 36.6           |       | k= 1.0416       | 31.2  |

LI. = 33

IP = 4.00

#### 4.5.3.8. Resistencia al desvestimiento.

Durante el ensayo AASHTO T-182 permaneció cubierto más del 70 % de las partículas, por lo tanto, cumple con la especificación.

Luego de haber hecho todos los ensayos a los agregados y viendo que en su mayoría cumple con las especificaciones del Instituto de Asfaltos y Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes (Libro Azul de Caminos) se prosigue a la elaboración de los especímenes de prueba.

Como ya se mencionó el proceso para la elaboración de éstos, sólo queda por agregar que siempre se va a utilizar la misma cantidad de asfalto por briqueta ( 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%) y también la misma cantidad de agregado-asfalto que es de 1,100 gramos ya que con esa cantidad se dijo que no habrá exceso en el molde.

Para cada porcentaje de asfalto se llevarán a cabo 3 especímenes de prueba.

Teniendo ya compactadas las briquetas ( Especímenes de Prueba ) y dejándolas enfriar por un periodo de 72 horas, se prosigue a verificar si sus propiedades están dentro de las especificaciones.

Antes de entrar a la elaboración de los ensayos, sólo se mencionarán los cambios que se pudieron observar en las briquetas, después de hacerle el ajuste correspondiente a la mezcla.

En su apariencia, en las briquetas de porcentajes menores ( 4.5%, 5.0%, 5.5% ) ya no presentaba la expulsión de asfalto, ni una apariencia pegajosa, esto se debió a el incremento de los VMA. Para los porcentajes mayores ( 6.0%, 6.5%) si presentaba expulsión del asfalto, aunque se incrementó los VMA, no fueron suficientes para alojar grandes cantidades de asfalto.

Por lo tanto, se puede decir, que con la apariencia que muestran las briquetas, la cantidad de asfalto óptimo para la mezcla estará comprendida dentro del rango de 4.5% - 5.5%.

**4.5.4. Ensayo de las Briquetas:**

**4.5.4.1. Ensayo de estabilidad y fluencia Marshall:**

| % de Asf. | Lect. Microm. | Carga # | Prom. # Carga | Flujo | Prom. Flujo |
|-----------|---------------|---------|---------------|-------|-------------|
| 4.5       | 145           | 2300    |               | 9     |             |
| 4.5       | 140           | 2250    | 2266          | 8     | 8           |
| 4.5       | 140           | 2250    |               | 8.2   |             |
| 5.0       | 170           | 2700    |               | 9.4   |             |
| 5.0       | 175           | 2830    | 2760          | 10.0  | 9           |
| 5.0       | 173           | 2750    |               | 9.8   |             |
| 5.5       | 183           | 2950    |               | 10.9  |             |
| 5.5       | 185           | 3000    | 2950          | 11.2  | 11          |
| 5.5       | 180           | 2900    |               | 11.6  |             |
| 6.0       | 167           | 2700    |               | 13.6  |             |
| 6.0       | 168           | 2700    | 2720          | 14.1  | 13          |
| 6.0       | 170           | 2750    |               | 14.6  |             |
| 6.5       | 132           | 2070    |               | 15.6  |             |
| 6.5       | 127           | 2000    | 2040          | 14.9  | 15          |
| 6.5       | 137           | 2050    |               | 16.1  |             |

**4.5.4.2. Densidad de las briquetas de prueba:**

| % de Asf. | Peso Aire | Peso Agua | Volumen | Densidad | Prom. Densidad. |
|-----------|-----------|-----------|---------|----------|-----------------|
| 4.5       | 1079.6    | 597.60    | 482.0   | 2.24     |                 |
| 4.5       | 1081.4    | 502.9     | 485.0   | 2.26     | 2.25            |
| 4.5       | 1080.8    | 600.4     | 480.4   | 2.25     |                 |
| 5.0       | 1081.5    | 611.2     | 470.3   | 2.30     |                 |
| 5.0       | 1085.6    | 603.1     | 482.5   | 2.25     | 2.27            |
| 5.0       | 1084.7    | 604.7     | 480.0   | 2.26     |                 |
| 5.5       | 1086.8    | 614.2     | 472.6   | 2.30     |                 |
| 5.5       | 1089.6    | 609.6     | 480.0   | 2.27     | 2.28            |
| 5.5       | 1088.9    | 607.0     | 481.9   | 2.26     |                 |
| 6.0       | 1086.5    | 609.9     | 476.6   | 2.28     |                 |
| 6.0       | 1088.6    | 611.14    | 477.4   | 2.28     | 2.28            |
| 6.0       | 1090.4    | 612.1     | 478.3   | 2.28     |                 |
| 6.5       | 1097.0    | 617.9     | 479.1   | 2.29     |                 |
| 6.5       | 1096.2    | 615.4     | 480.8   | 2.28     | 2.28            |
| 6.5       | 1095.4    | 612.8     | 482.6   | 2.27     |                 |

#### 4.5.4.3. Densidad teórica y peso unitario.

| % de Agre. | % de Asf. | DT   | % DT  | P.U.   |
|------------|-----------|------|-------|--------|
| 95.5       | 4.5       | 2.39 | 94.14 | 149.13 |
| 95.0       | 5.0       | 2.37 | 95.78 | 147.88 |
| 94.5       | 5.5       | 2.36 | 96.61 | 147.26 |
| 94.0       | 6.0       | 2.34 | 97.4  | 146.01 |
| 93.5       | 6.5       | 2.32 | 98.27 | 144.76 |

#### 4.5.4.4. Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla total.

| % de Asfalto | DT   | d    | % Vacíos Mezcla Total |
|--------------|------|------|-----------------------|
| 4.5          | 2.39 | 2.25 | 5.0                   |
| 5.0          | 2.37 | 2.27 | 4.21                  |
| 5.5          | 2.36 | 2.28 | 3.38                  |
| 6.0          | 2.35 | 2.28 | 2.56                  |
| 6.5          | 2.32 | 2.28 | 1.72                  |

#### 4.5.4.5. Porcentaje de vacíos relleno agregado-asfalto (VMA).

Cantidad de Asfalto:

$$\text{Cant. Asf.} = \frac{d * \% \text{ de Asf.}}{\text{G.E.}_{\text{asfalto}}}$$

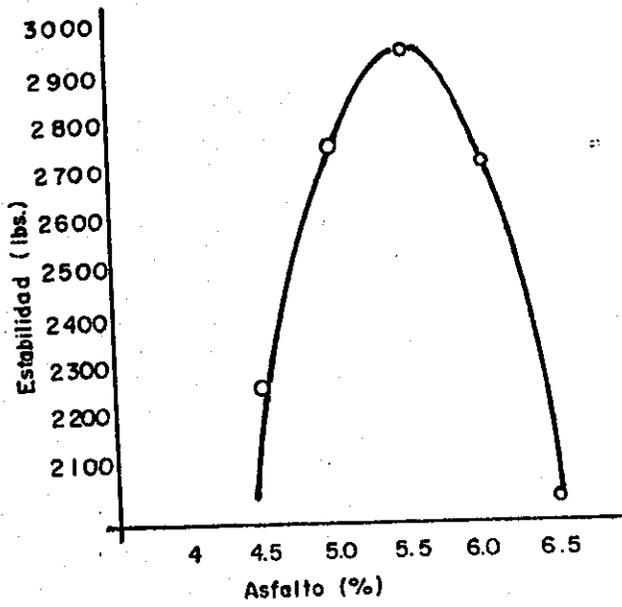
d = densidad de las Briquetas  
G.E. <sub>Asfalto</sub> = 1.015

| % de Asfalto | d    | Cantidad de Asfalto |
|--------------|------|---------------------|
| 4.5          | 2.25 | 11.08               |
| 5.0          | 2.27 | 11.18               |
| 5.5          | 2.28 | 12.35               |
| 6.0          | 2.28 | 13.47               |
| 6.5          | 2.28 | 14.60               |

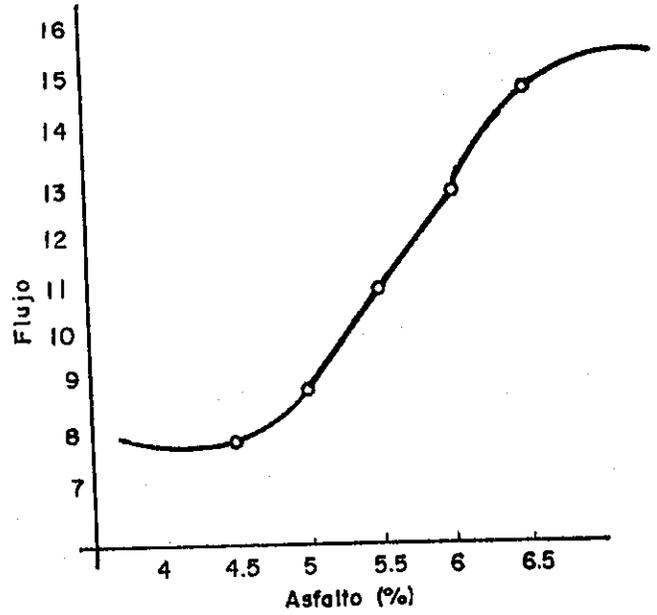
$$\text{VMA} = \frac{\text{Cant. de Asf.} * 100}{\text{Cant. de Asf.} * \text{Vacíos en la mezcla total}}$$

| % de Asf. | Cant. de Asf. | Vacíos en la mezcla total | VMA   |
|-----------|---------------|---------------------------|-------|
| 4.5       | 11.08         | 5.0                       | 80    |
| 5.0       | 11.18         | 4.21                      | 76.26 |
| 5.5       | 12.35         | 3.38                      | 70.42 |
| 6.0       | 13.47         | 2.56                      | 60.94 |
| 6.5       | 14.60         | 1.72                      | 41.8  |

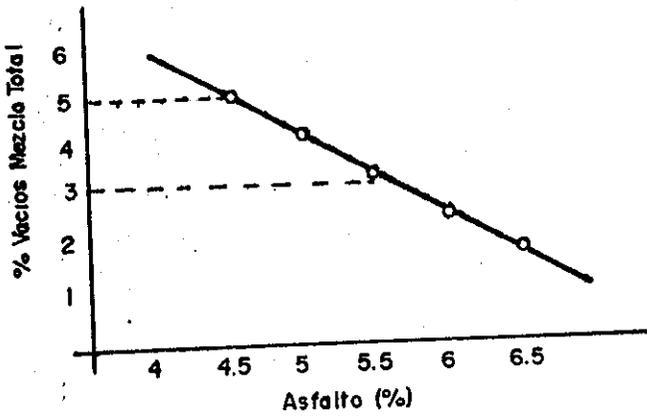
GRAFICA 1



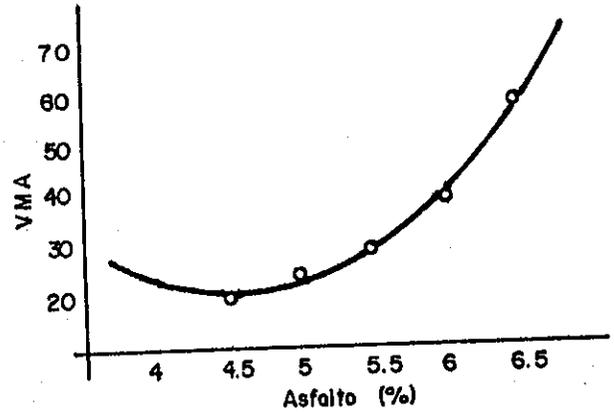
GRAFICA 2



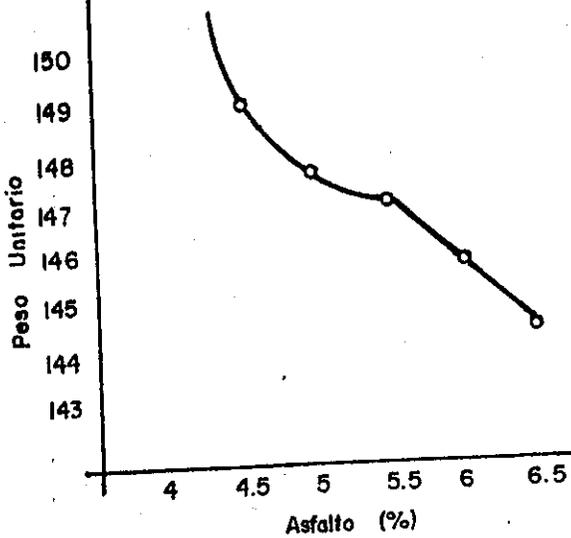
GRAFICA 3



GRAFICA 4



GRAFICA 5



#### 4.5.5. Determinación del contenido de asfalto óptimo.

Este se determina tomando en cuenta la elaboración de las cinco gráficas para obtener un valor más exacto de la cantidad de asfalto.

Dentro de las, gráficas que se elaboraron están:

|                       |      |              |
|-----------------------|------|--------------|
| Estabilidad           | vrs. | % de asfalto |
| Flujo                 | vrs. | % de asfalto |
| Peso unitario         | vrs. | % de asfalto |
| % Vacíos mezcla total | vrs. | % de asfalto |
| % VMA                 | vrs. | % de asfalto |

En las graficas se busca el contenido de asfalto óptimo que corresponda a la más grande estabilidad, el mayor peso unitario y en las gráficas de VMA, Flujo y vacíos en la mezcla total se toma la cantidad de asfalto que corresponda a la mitad del rango que estipula la especificación.

Para la gráfica de estabilidad se toma la mayor estabilidad a la cual le corresponde un % de asfalto de 5.5%. Para la gráfica No.2 tomamos un porcentaje de asfalto de 5.5%. Para la gráfica No.3 tomamos el mayor peso unitario el cual nos da como resultado un porcentaje de asfalto de 4.5%. Para las gráficas No.4 y No.5 el porcentaje de asfalto será de 5.15% y 5.30% correspondientemente.

Ya teniendo los diferentes porcentajes de asfalto en cada gráfica, se toma el promedio de las cinco:

$$P = \frac{5.5\% + 5.5\% + 4.5\% + 5.15\% + 5.30\%}{5} = 5.20\%$$

El porcentaje de asfalto óptimo para la mezcla será de 5.20%

Ahora si se quiere un valor aproximado de la cantidad de asfalto optimo, solo se tomaran encuesta tres graficas las cuales seran las de Estabilidad, Peso Unitario y % vacíos en la mezcla total y, esta nos dara como resultado una cantidad de 5.05%.

Ya cuando el contenido de asfalto óptimo ha sido determinado de los datos de prueba Marshall, ésta se debe revisar, refiriéndose de nuevo a las gráficas y aquí se encontra que un contenido de asfalto de 5.20% indica los siguientes valores para sus propiedades:

|   |           |
|---|-----------|
| Estabilidad (gráfica No.1)                    | 2870 Lbs. |
| Flujo (gráfica No.2)                          | 9.6       |
| Peso unitario (gráfica No.5)                  | 147.5     |
| % de Vacíos en la mezcla total (gráfica No.3) | 4.0       |
| % VMA (gráfica No.4)                          | 26.00     |

Ahora se pueden comparar los valores para las cinco propiedades con los valores recomendados por el Instituto de Asfaltos para el criterio de Diseño Marshall ( tabla 3.13). El valor de estabilidad de 2870 lbs. excede el criterio mínimo de 1800 lbs. El valor de flujo de 9.6 fallas esta dentro del rango de criterio de 8 - 14. El porcentaje de vacios de aire en la mezcla total es de 4.00 que satisface el limite que esta en el rango de 3 - 5. y por lo tanto el peso unitario y el % VMA también satisfacen sus condiciones.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

## CONCLUSIONES

1. El Cemento asfáltico 60-70, conforme las pruebas de laboratorio realizadas, cumple con las especificaciones M 20 por lo tanto se puede utilizar en el diseño de mezcla, tomando las precauciones necesarias.
2. Los Agregados utilizados en el presente trabajo, deben llevar un control en la graduación de los mismos ya que contienen muchos finos y esto influye en forma directa en su uniformidad y adaptabilidad hacia la mezcla asfáltica.
3. Cuando se elaboro la primera propuesta de mezcla no se tuvo el cuidado de controlar el Filler, por lo tanto los resultados estuvieron fuera de especificación, cuando ya se le elaboraron las pruebas respectivas y se llevo un buen control al filler para la segunda propuesta, se observo una gran diferencia en la aceptación de la mezcla.
4. Los Materiales provenientes de bancos, deben ser seleccionados de acuerdo con los resultados de ensayos de Mecánica de Suelos y, por ende, a sus especificaciones técnicas respectivas.
5. La Mayor estabilidad Marshall de la mezcla propuesta, se obtiene con un 5.20% de asfalto en la mezcla, sin embargo, esta estabilidad proporciona una rigidez a la misma, pues, alcanza una fluencia de 9.6 centésimas de pulgada.
6. Los Métodos empleados en Guatemala para el diseño y selección del pavimento a usarse, son adoptados de otros países y, por lo tanto, concebidos para las condiciones y requerimientos propios del lugar de origen. Al hacerse uso de ellos, el ingeniero deberá tener en cuenta que las condiciones no son, necesariamente, iguales en Guatemala y que el empleo de dichos métodos estará condicionado a la clase de información local con que se cuente.
7. Debido a las condiciones generales económicas del país, la mejora y trazo de nuevas rutas de comunicación vial, deben hacerse, preferiblemente, conservando las estructuras existentes. Para este propósito, el pavimento de Concreto asfáltico es, sin duda, el más adaptable, ya que su función no es solamente como carpeta de rodadura sino que pasa a formar parte de la estructura en sí del pavimento y por lo tanto, aumenta la capacidad de carga.
8. En Guatemala el desarrollo en materia de carreteras está teniendo un alcance tal que, la producción de Concreto asfáltico tiene que llevar gran control de calidad, en la cual ésta cumpla con todas las especificaciones y que de preferencia la mezcla a utilizarse sea de graduación gruesa ya que éstas proporciona mayor ventaja y no mezclas muy finas como las que se están trabajando en la actualidad.

## RECOMENDACIONES

1. Actualmente, en Guatemala, se ha intensificado la construcción de obras viales; por lo cual se ha incrementado la demanda de profesional conocedor en la materia. Recomiendo que la Facultad de Ingeniería a través de la Escuela de Ingeniería Civil y del Laboratorio de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, establezca cursos y laboratorios para dar conocimiento necesario sobre la materia tratado en esta tesis.
2. Que se cumplan, estrictamente, las especificaciones técnicas en las mezclas que se utilizan en diversas obras.
3. En Guatemala, se debe revisar las especificaciones de la D.G.C. y actualizarlas tomando en cuenta las especificaciones actuales del Instituto de Asfaltos.
4. Que el diseño de mezcla asfáltica y su construcción se realice de acuerdo con el tipo de tránsito esperado, tomando en consideración su evolución en el tiempo de diseño. Para que, así, una mezcla asfáltica pueda tener larga duración, tomando en cuenta, también, sus obras en las cuales figuran todas las instalaciones subterráneas.
5. Para brindar un eficiente servicio al constante tránsito de vehículos, tiene que proveerse del mantenimiento adecuado a la superficie de carreteras y, así, prolongar su vida útil.

## BIBLIOGRAFÍA

- MONCAYO V., Jesús. MANUAL DE PAVIMENTOS. Segunda Edición. México. Editorial C...ental. Mayo 1983.
- MERRITT, Frederick S. INGENIERÍA DE CAMINOS. MERRITT, Frederick S. MERRITTAL DEL INGENIERO CIVIL, VOL. III. Tercera Edición. México. Draw-Hill. Junio 1993.
- ASHTO., American Association Of State Highway And Transportation Official. STANDARD SPECIFICATIONS FOR TRANSPORTATION MATERIAL AND METHODS OF SAMPLING AND TESTING, PART 1. Sixteenth Edition. 1993.
- ASPHALT INSTITUTE. MIX DESIGN METHODS FOR ASPHALT CONCRETE AND OTHER HOT-MIX TYPES, MS-2 1992.
- ATKINS N., Harold. HIGHWAY MATERIALS, SOILS, AND CONCRETES. Second Edition. Prentice-Hall. United State Of America. 1992.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, Ministerio de Comunicaciones y Obras Publicas. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS Y PUENTES. Guatemala, 1975
- PALACIOS SAMAYOA, Carlos Enrique. ANÁLISIS Y ESPECIFICACIONES PARA ASFALTO APLICADO EN DIFERENTES TIPOS DE CONSTRUCCIÓN. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Mayo de 1991. Ingeniería Civil.
- MANSILLA MAYORGA, Fernando Alberto. PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CONCRETO ASFALTICO Y MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN EN NUESTRO MEDIO. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Noviembre de 1976. Ingeniería Civil.
- LICONA JIMÉNEZ, Miguel José. MANUAL DE LABORATORISTAS DE ASFALTOS EN CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Julio de 1969. Ingeniería Civil.