

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

El pavimento es una estructura vial que tiene como fin principal ofrecer una superficie de tránsito vehicular limpio cómodo, seguro y durable. Esta estructura se la construye directa y continuamente apoya sobre el suelo.

Las obras de construcción, mantenimientos y rehabilitación de pavimentación demandan la utilización de materiales duraderos basado en tecnologías sostenibles y ambientalmente viables, que ofrezcan soluciones capaces de responder al reto de producir materiales resistentes a las cargas y las condiciones ambientales, y además que sean económicamente accesibles. El uso de fibra sintética se ha venido implementando desde 1926 para reforzar las estructuras de pavimento, las cuales cada vez demandan mayores cargas, y busca asumir el reto de la calidad y disponibilidad de materiales (Kleman, 1998; Mejía y Caro, 2008).

La técnica usualmente empleada para la recuperación de capas fisuradas de pavimento es la colocación de sobre – carpetas asfálticas; sin embargo, la vida útil del pavimento con este tipo de rehabilitación es corta, debido a que la mezcla asfáltica no es capaz de evitar o retardar la aparición de las fisuras de reflexión ocasionadas por la discontinuidad en el pavimento a rehabilitar. Por lo anterior, y con el fin de mitigar este problema, para la rehabilitación de capas fisuradas colocando una sobrecarga se toman decisiones como el aumento del espesor de la nueva capa asfáltica, la utilización de asfalto modificados (Pardo y Canata, 2002), o la implementación de Sistemas de Membrana Antifisura S.A.M.I. (por sus siglas en ingles de Stress Absorbing Membrane Interlayer).

Han sido muchos los estudios para establecer qué tipo de materiales son adecuados para conformar las membranas antifisuras S.A.M.I; sin embargo, en muchos de los casos no se ha implementado un tipo de ensayo que permita determinar la efectividad

de estos materiales, como, por ejemplo, uno que simule el mecanismo de reflexión de las fisuras que experimenta el pavimento.

La S.A.M.I es una membrana absorbente de esfuerzo debidos a la presencia de fisuras y grietas en pavimentos deteriorados. Existen diferentes sistemas de materiales combinados que componen una S.A.M.I, y que son ampliamente utilizados en la rehabilitación de pavimentos deteriorados, entre los cuales se encuentra el uso de geosintéticos como geomallas, geotextiles y geocompuestos, al igual que la incorporación de caucho molido de llantas usadas GCR a la mezcla asfáltica empleada como S.A.M.I.

La presente investigación se concentrará en establecer la incidencia del sistema de membrana antifisura a través de la elaboración de ensayos para obtener valores reales producto de los ensayos realizados en la actualidad por el alto costo de la construcción y mantenimiento de vialidades es conveniente la búsqueda de alternativas que no generen grandes inversiones.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Esta investigación "ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE SISTEMAS DE MEMBRANA ANTIFISURA (S.A.M.I.) EN LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES FISURADOS POR REFLEXIÓN" pretende principalmente dar un aporte, que permita el interés en la realización de más investigaciones sobre este tema, el cual es valorar el efecto que van a tener las membranas utilizadas en los pavimentos fisurados de manera que garantice la mayor vida útil del pavimento.

Si bien no existe disponibilidad de mucha bibliografía para la realización de esta investigación, la membrana ya está definida con todas sus cualidades y especificaciones y resistencias características con la que se lanzó al mercado tienen sus propias propiedades y características.

Las prácticas en distintos países en la ejecución de pavimentos flexibles sobre un pavimento flexible fisurado han conducido que la mayoría de las empresas

constructoras de pavimentos flexibles obtuvieron óptimo efecto con la adición de membranas (geotextil) que a pesar de tener un mayor costo está comprobada por las investigaciones realizadas de permitir una mayor resistencia a la reflexión.

### **1.3. DISEÑO TEÓRICO**

#### **1.3.1. Planteamiento del problema**

##### **1.3.1.1. Situación problemática**

Una de las situaciones críticas de las carreteras en el país, corresponde a la baja durabilidad de los pavimentos flexibles, situación que con frecuencia se asocia a la baja calidad de las mezclas asfálticas que son utilizadas como carpetas de rodadura.

La acción combinada del tránsito y del clima lleva a los revestimientos de pavimentos asfálticos, tarde o temprano a fisurarse indefectiblemente. Una vez que se produce la fisura, la misma se propaga y aumenta en extensión, severidad e intensidad, llevando eventualmente a la disgregación del revestimiento, por esos efectos, la velocidad de deterioro del pavimento es usualmente acelerada después del inicio de la fisuración con importante progresión de los amueblamientos.

La solución tradicional de rehabilitación es la aplicación de una nueva capa de mezcla asfáltica superpuesta al pavimento fisurado, siendo de carácter temporario debido a la propagación de las fisuras de capas antiguas sobre las nuevas. La propagación de las fisuras tiende a perjudicar el desempeño del pavimento restaurado comprometiendo su vida de servicio y llevando a vidas extremadamente cortas en el caso de rehabilitaciones ejecutadas por medio de recapados simples. en esencia, el fenómeno de propagación de fisuras de nada difiere del proceso de fisuración normal por fatiga de un revestimiento asfáltico.

La secuencia para la ocurrencia de la ruptura por fatiga de una capa asfáltica se inicia con la unión de microfisuras inherentes a la mezcla asfáltica que por un proceso continuo de propagación originaran las microfisuras.

Posteriormente se tiene el crecimiento de la fisura en un plano perpendicular al de la dirección de la tensión principal de tracción, esto ocurre cuando la tensión en la extremidad de la fisura sobrepasa la tensión cohesiva teórica del material.

La tercera y última fase se caracteriza por la fractura final donde la fisura alcanza un tamaño crítico que imposibilita su crecimiento de forma estable, atravesando todo el espesor de la capa asfáltica. Así el aumento del espesor de la capa redundará en un incremento de la vida de servicio, para igual deformación de tracción en la fibra inferior de la capa asfáltica, en razón de que el espesor deberá atravesar la fisura será mayor, requiriendo un número adicional de ciclos de carga.

Bajo estas perspectivas se planteó realizar un análisis de la eficiencia de la membrana antifisura para la rehabilitación de pavimentos fisurados por reflexión, en cual se hará una evaluación con la presencia de la membrana y otra sin ella para así constatar la eficiencia de la membrana antifisura.

### **1.3.1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera influye la utilización del sistema de membrana antifisura en la aparición de fisuras en el pavimento rehabilitado, con pavimento flexible?

### **1.3.2. Objetivos de investigación**

#### **1.3.2.1. Objetivo general**

Analizar la incidencia de la membrana antifisura (geotextil) en el comportamiento de las propiedades de la rehabilitación de una carpeta asfáltica fisuradas en el efecto de la reflexión.

#### **1.3.2.2. Objetivos específicos**

- Establecer el marco teórico en pavimentos flexibles y su rehabilitación.
- Ubicar los materiales que serán utilizados en la investigación.
- Desarrollar la caracterización de los agregados utilizados en la investigación.

- Desarrollar la caracterización del ligante asfáltico utilizado en la investigación.
- Determinar el contenido óptimo de asfalto para mezclas en caliente según el método Marshall.
- Realizar una investigación sobre el comportamiento con y sin la aplicación de la membrana (geotextil) a ser empleado en la elaboración de rehabilitación de (mezclas asfálticas) existentes, examinando los resultados sobre su comportamiento en el efecto de la reflexión de fisuras.
- Establecer conclusiones y recomendaciones sobre los resultados de la investigación.

### **1.3.3. Hipótesis**

Como parte del método de este trabajo de investigación aplicada en base al conocimiento adquirido a través de algunas bibliografías, se planteará la hipótesis para responder la pregunta de investigación, la cual es la siguiente:

Si se combina una mezcla asfáltica convencional con una membrana antifisura (geotextil) en una capa de mezcla asfáltica (pavimento flexible) altamente fisurado entonces, se podrá mitigar el grado de fisuración.

### **1.3.4. Definición de las variables independientes y dependientes**

La selección de las variables independientes y dependientes, producto de acuerdo a la hipótesis y el objetivo planteado realizado en el trabajo de investigación llegando a ser las siguientes:

#### **Variables independientes:**

- La combinación de la mezcla asfáltica con la membrana (geotextil) antifisura.

#### **Variable dependiente:**

- Grado de fisuración.

### **1.3.5. Alcance de la investigación**

Se inicia con un breve resumen que se realizará de todo el trabajo de investigación (análisis de la incidencia de sistemas de membrana antifisura en la rehabilitación de pavimentos fisurados por reflexión). Luego se da a conocer el planteamiento del problema, así como el motivo por el cual se ha realizado la investigación (su justificación), además se mencionan los objetivos que se pretenden alcanzar al finalizar su desarrollo.

Luego se exponen los conceptos básicos de pavimento, asfalto y mezcla asfáltica, las características fundamentales del ligante asfáltico (BETUPEN PLUS 85-100) producto que se está utilizando en proyectos de nuestra región, ya que este tipo de asfalto es utilizado para climas templados, por las características que presenta una mezcla asfáltica. Finalizando con la definición, descripción y utilización de las membranas (geotextil) antifisuras en una rehabilitación de pavimento flexible.

En la investigación corresponde a la preparación y fabricación de las briquetas en laboratorio utilizando la metodología de diseño seleccionada. La preparación de las mezclas asfálticas para las briquetas luego someterlos a fisuración por reflexión para luego aplicar la membrana antifisura (Geotextil), también contempla la recolección y procesamiento de datos. Se analizará los datos que son un precedente para la actividad de interpretación, la interpretación se realizará en términos de los resultados de la investigación.

Finalmente se dan las conclusiones concernientes al presente documento y las recomendaciones de aspectos importantes.

### **1.4. DISEÑO METODOLÓGICO**

En esta sección se explica la metodología a seguir para desarrollar el trabajo experimental de laboratorio, con este fin, se establecen parámetros fijos y parámetros variables que permitan llevar un procedimiento de manera ordenada y que puedan servir de guía para explicar las posibles variaciones que se presenten en los resultados de las diferentes pruebas a realizar.

### **1.4.1. Unidades de estudio y decisión maestra**

#### **1.4.1.1. Unidad de estudio**

- El análisis de la geomembrana (geotextil) en la rehabilitación de pavimento fisurado.

#### **1.4.1.2. Población**

- La totalidad del fenómeno a estudiar en esta investigación es la rehabilitación de carpetas asfálticas fisuradas y las mezclas asfálticas utilizadas en pavimentos flexibles.

#### **1.4.1.3. Muestra**

- La muestra para realizar los ensayos es: rehabilitación en planta en caliente de carpeta asfáltica con membrana antifisura (geotextil).

#### **1.4.1.4. Procesos y medios**

La recolección de datos para el diseño de la mezcla asfáltica se realiza de acuerdo a las normas ASTM, AASHTO y ABC.

La información se tomará de los ensayos realizados en laboratorios para:

##### **1.4.1.4.1. Caracterización de los materiales**

###### **a) Caracterización del material del ligante asfáltico**

- Determinación de penetración del ligante asfáltico (ASTM D-5).
- Determinación de ductilidad (ASTM D-113).
- Determinación de punto de inflamación (ASTM D-92).
- Determinación de viscosidad Saybolt-Furol (ASTM-E-102).
- Determinación de peso específico (ASTM D-70).

## **b) Caracterización de los agregados**

- Determinación de abrasión de agregado grueso Máquina de Los Ángeles (AASHTO T-96).
- Determinación del peso específico del agregado fino (AASHTO T-84)
- Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso (AASHTO T-85).

Los instrumentos utilizados para la realización de estas técnicas fueron:

- Equipo de laboratorio de suelo y asfalto.
- Equipos de oficina.
- Manuales y Especificaciones de diseños de mezclas asfálticas drenantes.

### **1.4.1.4.2. Evaluación de la respuesta mecánica**

- Relación % de fisuración-Nº de briquetas, en las briquetas de estudio.
- Determinación del análisis del geotextil en la rehabilitación de briquetas fisuradas (pavimento fisurado), mediante el método Marshall.

### **1.4.2. Procesamiento estadístico**

Una vez concluidas las etapas de recolección y procesamiento de datos se iniciarán con una de las más importantes fases de una investigación, el análisis de datos. En esta etapa se determina como analizar los datos y que herramientas de análisis estadístico son adecuadas para éste propósito. El análisis de datos es el precedente para la actividad de interpretación. La interpretación se realiza en términos de los resultados de la investigación. Esta actividad consiste en establecer inferencias sobre las relaciones entre las variables estudiadas para extraer conclusiones y recomendaciones (Kerlinger, 1982). La interpretación se realiza en dos etapas:

- Interpretación de las relaciones entre las variables y los datos que las sustentan con fundamento en algún nivel de significancia estadística.

- Establecer un significado más amplio de la investigación, es decir, determinar el grado de generalización de los resultados de la investigación.

Las dos anteriores etapas se sustentan en el grado de validez y confiabilidad de la investigación, ello implica la capacidad de generalización de los resultados obtenidos.

Según (Sampieri, 1997) las medidas de tendencia central son puntos en una distribución, los valores medios o centrales de ésta y nos ayudan a ubicarla dentro de la escala de medición. Las principales medidas de tendencia central son tres: moda, mediana y media. El nivel de medición de la variable determina cuál es la medida de tendencia central apropiada.

**La mediana**, es el valor que divide a la distribución por la mitad. Esto es, la mitad de los que caen por debajo de la mediana y la otra mitad se ubica por encima de la mediana. La mediana refleja la posición intermedia de la distribución.

La mediana es el dato que se encuentra exactamente a la mitad de la muestra ordenada, esto se puede entender una balanza que contiene los datos; para que este equilibrada debe existir el mismo número de datos de cada lado por lo que la mediana será la que quede situada en el centro de la balanza.

**La media** es la medida de tendencia central más utilizada y puede definirse como el promedio aritmético de una distribución. Se simboliza como:  $\bar{X}$ , y es la suma de todos los valores dividida por el número de casos, su fórmula es:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_k}{N}$$

La fórmula simplificada de la media es:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Fórmula, para el cálculo de la media con datos agrupados de una distribución de frecuencias:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k F_i * T_i}{n} = \sum_{i=1}^k F_i * T_i$$

**Donde:**

$F_i$  = Es la frecuencia de la  $i$ -ésima clase.

$T_i$  = Es la marca de clase de la  $i$ -ésima clase.

$f_i$  = Es la frecuencia relativa de la  $i$ -ésima clase.

$K$  = Representa el total de clases de la distribución.

Las medidas de la variabilidad nos indican la dispersión de los datos en la escala de medición, responden a la pregunta: ¿en dónde están diseminadas las puntuaciones o valores obtenidos? Las medidas de tendencia central son valores en una distribución y las medidas de la variabilidad son intervalos, designan distancias o un número de unidades en la escala de medición. Las medidas de la variabilidad más utilizadas son el rango, la desviación estándar y la varianza.

**Correlación**

El análisis de correlación trata de establecer el grado de relación entre dos variables es decir se trata de medir cuan dependiente es una variable de la otra.

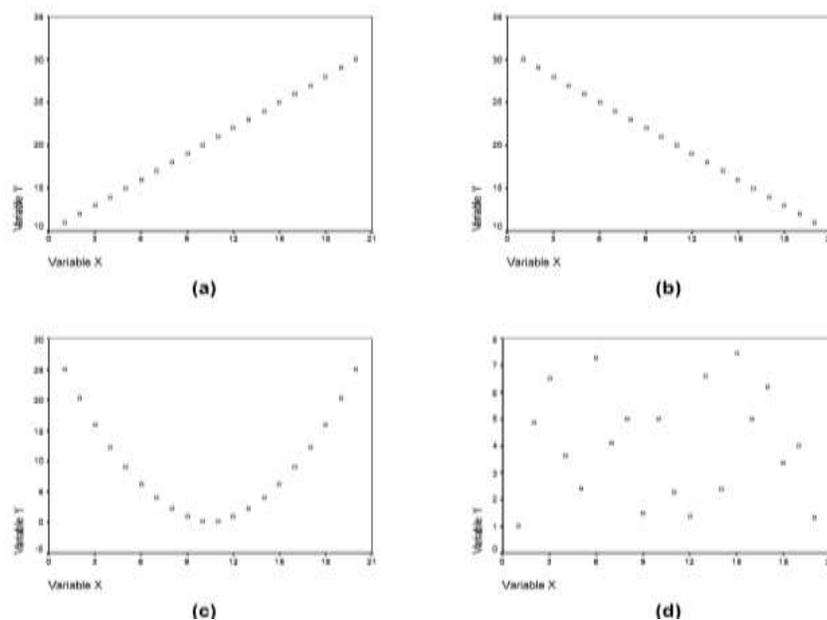
Cuando se trata de la relación entre dos variables, se llama correlación simple. A la relación entre tres o más variables se llama correlación múltiple.

Cuando la relación entre dos variables se la representa por una recta se llama correlación lineal. Si la relación se la representa por una curva cualquiera, se tiene la correlación no lineal.

La figura 1.a muestra una situación en la que cuanto mayores son las puntuaciones en una de las variables, mayores son también las puntuaciones en la otra; cuando ocurre esto, los puntos se sitúan en una línea recta ascendente y hablamos de relación lineal positiva. La figura 1.b representa una situación en la que cuantos mayores son las puntuaciones en una de las variables, menores son las puntuaciones en la otra; en este caso, los puntos se sitúan en una línea recta descendente y hablamos de relación lineal negativa. En la situación representada en la figura 1.c también existe una pauta de variación clara, pero no es lineal: los puntos no dibujan una línea recta. Y en la figura

1.d no parece existir ninguna pauta de variación clara, lo cual queda reflejado en una nube de puntos dispersa, muy lejos de lo que podría ser una línea recta.

**Figura N° 1-1 Diagramas de dispersión expresando diferentes tipos de relación**



Fuente: Teoría de estadística

Vemos, pues, que un diagrama de dispersión nos permite formarnos una idea bastante aproximada sobre el tipo de relación existente entre dos variables. Pero, además, observando los diagramas de la figura N° 1-1, podemos ver que un diagrama de dispersión también puede utilizarse como una forma de cuantificar el grado de relación lineal existente entre dos variables: basta con observar el grado en el que la nube de puntos se ajusta a una línea recta.

## **CAPítulo II**

### **INCIDENCIA DE SISTEMAS DE MEMBRANA ANTIFISURA (S.A.M.I.) EN LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS flexibles FISURADOS POR REFLEXIÓN**

#### **2.1. CONCEPTOS Básicos de Pavimentos Flexibles**

##### **2.1.1. Definición de pavimento**

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas producidas por el tránsito y las transmiten a los estratos inferiores de manera distribuida, proporcionando una superficie de rodamiento que debe trabajar eficazmente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: ancho, trazo horizontal y vertical, resistencia que controle las cargas para evitar el agrietamiento, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los efectos abrasivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías; además, que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza y consecuentemente más económicos. La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, cuando se determina el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas dependerá del material que la constituye y el procedimiento constructivo; dos factores importantes son la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas de tráfico, produciendo deformaciones permanentes.

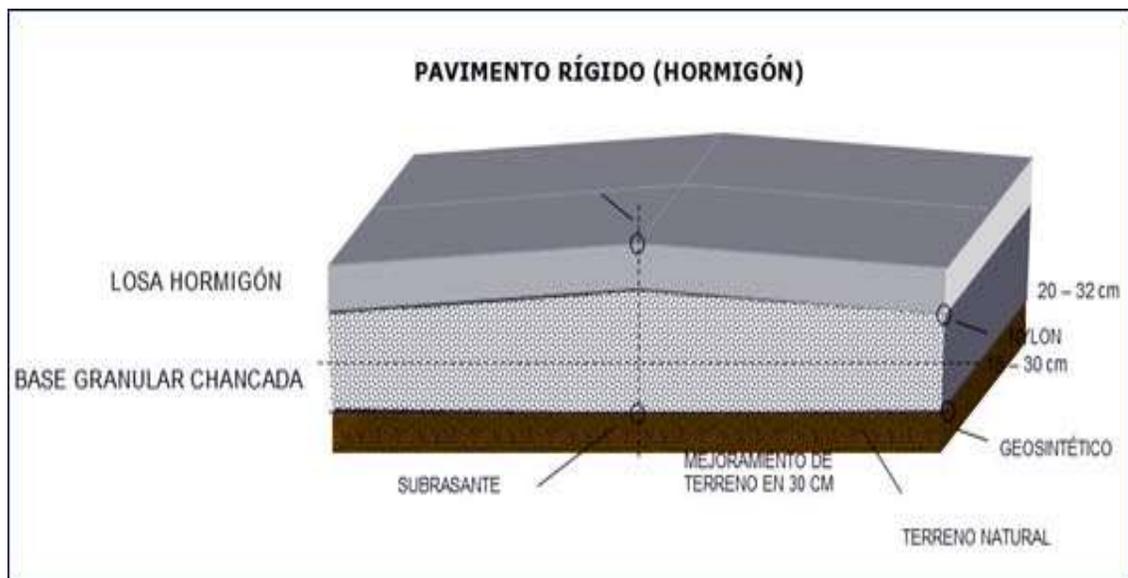
### 2.1.2. Diferencias entre el pavimento rígido y flexible

Básicamente existen dos tipos de pavimentos:

#### a) Pavimento Rígido

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas (ver figura 2-1).

Figura N° 2-1 Pavimento rígido (hormigón)

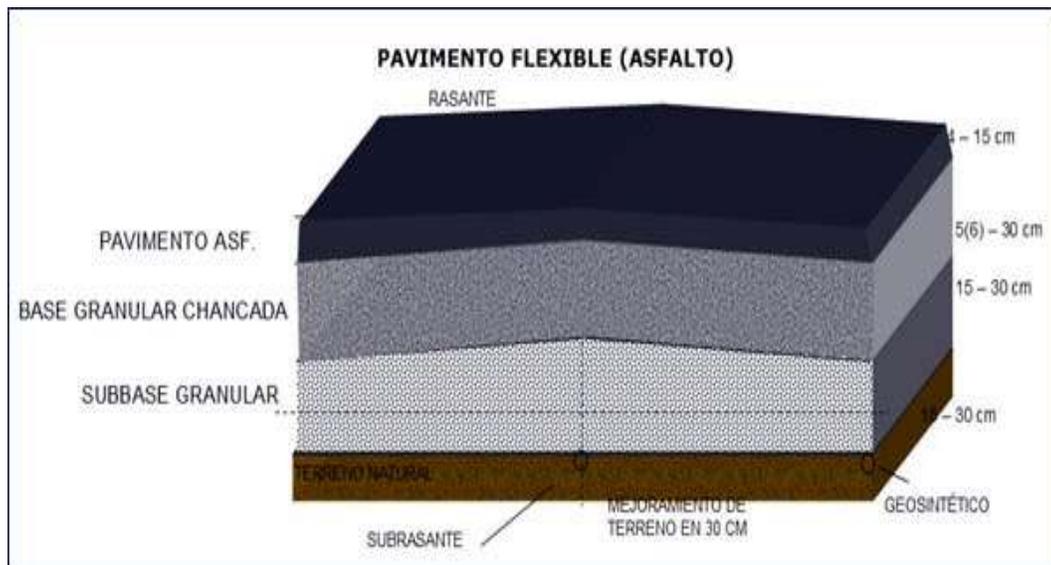


Fuente: Teoría de pavimentos-Fernando Pinedo

#### b) Pavimentos flexibles

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base (ver figura 2-2).

Figura N° 2-2 Pavimento flexible (asfalto)



Fuente: Teoría de pavimento-Fernando Pinedo

## 2.2. CONCEPTOS Básicos de Asfalto

### 2.2.1. Definición de asfalto

Según el (INSTITUTE, 1989) el asfalto es un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes que pueden ser naturales u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se presenta en proporciones variables en la mayoría de los petróleos crudos. En base a la proporción de asfalto, los petróleos se clasifican en:

- Petróleos crudos de base asfáltica: contiene alta proporción de bitumen.
- Petróleos crudos de base parafínica: contiene altos porcentajes de parafina, y no son aptos para obtener asfaltos.
- Petróleos crudos de base mixta: contiene parafina y asfalto.

El petróleo crudo, extraído de los pozos, es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separación, los constituyentes son refinados más

cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos. De esta manera el asfalto, parafina, nafta, aceites lubricantes y otros productos útiles de alta calidad se obtienen en una refinería de petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado.

El petróleo crudo, extraído de los pozos, es separado en sus constituyentes o fracciones en una refinería. Principalmente esta separación es llevada a cabo por destilación. Después de la separación, los constituyentes son refinados más cuidadosamente o procesados en productos que cumplan requerimientos específicos. De esta manera el asfalto, parafina, nafta, aceites lubricantes y otros productos útiles de alta calidad se obtienen en una refinería de petróleo, dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado.

Debido a que el asfalto es el constituyente más pesado del petróleo crudo, no se evapora o hierve cuando es destilado. Por lo tanto, el asfalto es obtenido como producto residual, y es valioso para una gran variedad de usos de obras ingenieriles y arquitectónicas.

El asfalto de petróleo para uso en pavimentos es comúnmente llamado asfalto de pavimentación o cemento asfáltico para distinguirlo del asfalto hecho para otros usos, como ser con propósitos industriales o techumbres.

El asfalto para pavimentación a temperatura atmosférica normal (ambiente) es un material negro, adherente, semi-sólido y altamente viscoso. Está compuesto primordialmente de moléculas complejas de hidrocarburos, pero también contiene otros átomos de elementos, como, por ejemplo: oxígeno, nitrógeno y azufre (sulfuros). Debido a que el asfalto de pavimentación es pegajoso, se adhiere a las partículas del agregado y puede ser usado para cementarlas, aglomerarlas o ligarlas dentro del concreto asfáltico. El asfalto para pavimentación es impermeable y no lo afecta la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Es llamado un material termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental para que el asfalto sea un material de pavimentación importante.

Las características visco elásticas del asfalto que cementa los agregados en la superficie de rodadura, generan una micro deformación al paso de las cargas, la cual recupera su posición original cuando las cargas desaparecen. Es por esto que se le denomina flexible a los pavimentos hechos con mezclas asfálticas.

### **2.2.2. Propiedades físicas del asfalto**

Según (LINARES F., et al., 2010) Al integrar el cambio del abastecimiento de crudo de las refinerías se crearon más variaciones en las propiedades del asfalto, tanto físicas como químicas. De estas variaciones, surgió la necesidad de poder evaluar el comportamiento del asfalto ante condiciones particulares y predecir su rendimiento por medio de sus propiedades geológicas. Aun así, algunas propiedades físicas y químicas siguen siendo constantes en todos los tipos de asfaltos.

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: adhesión, cohesión, susceptibilidad a la temperatura y durabilidad.

#### **2.2.2.1. Adhesión y cohesión**

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado, en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ligante bituminoso debe ser capaz de envolver a los áridos, dar cohesión a la mezcla y resistir la acción de desenvuelta del agua (figura 2-3), tal efecto produce una separación del ligante con el árido disminuye así la cohesión de la mezcla.

Figura N° 2-3 Acción de desvuelta del agua



Fuente: Teoría de asfaltos-Universidad Fray Rogelio Bacon

#### 2.2.2.2. Durabilidad

Durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la durabilidad del asfalto. Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para la durabilidad del asfalto.

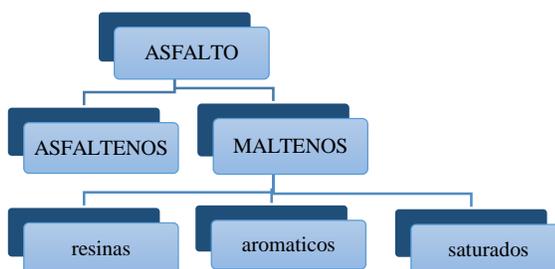
Estas son la prueba de película delgada en horno (TFO) y la prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO).

#### 2.2.2.3. Propiedades químicas del asfalto

El asfalto tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras.

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno; casi en su totalidad solubles en sulfuro de carbono. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfáltenos y máltenos. (ver figura 2-4).

**Figura N° 2-4 Composición del asfalto**



Fuente: Teoría de asfaltos-Universidad Fray Rogelio Bacon

- a) **Los asfáltenos**, son compuestos químicos orgánicos y representan los compuestos más pesados y por tanto de mayor punto de ebullición. Una vez separados de los máltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfáltenos le dan al asfalto su color y dureza y se encuentran disueltos en los máltenos, es decir es la fase discontinua del asfalto.
- b) **Los máltenos**, son líquidos viscosos formando la fase continua del asfalto. Su contenido se asocia a las propiedades mecánicas mostradas por el asfalto. Generalmente, existe mayor proporción de máltenos que de asfáltenos en los asfaltos. El mayor contenido de máltenos y su naturaleza química son las que le dan la calidad a un asfalto. Los máltenos se subdividen en:
- **Resinas**: moléculas intermediarias en el asfalto, proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto. Son sólidos o semisólidos de color negro.

- Aromáticos: son líquidos viscosos de color negruzco e influye en la facilidad que tiene un asfalto para “admitir” polímeros modificadores. Los aromáticos constituyen de un 40% al 65% el total del asfalto.
- Saturados: son aceites viscosos de coloración amarillenta, en el cual flotan como islas los máltenos y asfáltenos.

Describiendo la estructura del coloide, las resinas circundan en forma inmediata a los asfáltenos y los aceites rodean a ese compuesto (ver figura 2-5)

**Figura N° 2-5 Estructura coloidal del asfalto**



Fuente: Teoría de asfaltos-Universidad Fray Rogelio Bacon

La proporción de asfáltenos y máltenos en el asfalto puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado.

### 2.2.3. Sistemas de clasificación del cemento asfáltico

La clasificación de los cementos asfálticos, ha girado alrededor de las propiedades físicas de los mismos, determinados a través de métodos de ensayos que en su mayoría son empíricos; lo anterior, principalmente debido a la complejidad y variabilidad de las propiedades o características químicas de los asfaltos. Los sistemas tradicionalmente utilizados para la clasificación de los asfaltos corresponden a:

- Sistema de clasificación por penetración.
- Sistema de clasificación por viscosidad.

#### **2.2.3.1. Sistema de clasificación por penetración**

El método de penetración fue el primer sistema desarrollado para la clasificación de asfaltos y todavía es utilizado por diferentes agencias de carreteras en la región. Dicho sistema fue desarrollado en 1918 por el Bureau of Public Works, (ahora Federal Highway Administration, FHWA), y posteriormente en 1931, la AASHTO publicó las primeras especificaciones técnicas para la clasificación de asfaltos por penetración. Asimismo, en 1921 la ASTM desarrolló la primera especificación para cementos asfálticos clasificados por penetración para propósitos de pavimentación, la cual sufrió un cambio significativo en 1968, al reducir el número de tipos de cemento asfáltico de 10 a 5.

Cabe señalar que la clasificación del asfalto por penetración, conlleva el desarrollo de una serie de ensayos de laboratorio, los cuales están contemplados en la norma ASTM D 946, “Standard specification for penetration-graded asphalt cement for use in pavement construction”. A continuación, en la tabla 2-1, se presentan las características físicas que deben cumplir los cementos asfálticos, para ser clasificados de acuerdo a la norma ASTM D 946.

Tabla N° 2-1 Requisitos para clasificar el asfalto por penetración

Ensayo	Norma de ensayo ASTM	Clasificación por penetración									
		40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
		Mín.	max.	Mín.	Max.	Mín.	Max.	Mín.	Max.	Mín.	Max.
Penetración (0,1 mm)	D5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Flash point (°C)	D92	232	...	232	...	232	...	218	...	177	...
Ductilidad (cm)	D113	100	...	100	...	100	...	100	...	100	...
Solubilidad (%)	D2042	99	...	99	...	99	...	99	...	99	...
<b>Ensayos en residuo de asfalto, después de ensayo de película delgada, ASTM D-1754</b>											
Penetración (%)	D5	55+	...	52+	...	47+	...	42+	...	37+	...
Ductilidad (cm)	D113	...	...	50	...	75	...	100	...	100	...

Fuente: Manual del asfalto-Institute, A.

### 2.2.3.2. Sistema de clasificación por viscosidad

El sistema de clasificación por viscosidad fue introducido a principios de la década de 1960, mediante el cual es posible clasificar cementos asfálticos en estado virgen y en residuos asfálticos. Dicho sistema de clasificación fue concebido debido a las limitantes que presenta el sistema de clasificación por penetración, que posee la imposibilidad de evaluar la susceptibilidad térmica del asfalto o no poder evaluar el comportamiento del mismo a temperaturas normales de operación de la mezcla asfáltica.

Los ensayos requeridos para la clasificación del asfalto, están contemplados en la norma ASTM D 3381, "Standard specification for viscosity-graded asphalt cement for use in pavement construction". Dentro de esta especificación se encuentran los asfaltos clasificados por viscosidad (AC) el cual se detalla a continuación:

**Viscosidad (AC):** Los ensayos se realizan en el asfalto original (virgen), entre los asfaltos clasificados por viscosidad, tenemos los siguientes: AC 5, AC 10, AC 20, AC 30, AC 40.

A continuación, en la tabla 2-2, se presentan las características físicas que deben cumplir estos asfaltos:

*Tabla N° 2-2 Requisitos para clasificar el asfalto por viscosidad*

Ensayo	Norma de ensayo ASTM	Clasificación por viscosidad (grados basados en asfalto)									
		AC-5		AC-10		AC-20		AC-30		AC-40	
		Mín.	max.	Mín.	Max.	Mín.	Max.	Mín.	Max.	Mín.	Max.
Viscosidad absoluta (poise)	D2171	400	600	800	1200	1600	2400	2400	3600	3200	4800
Viscosidad cinemática (cSt)	D2170	175	...	250	...	300	...	350	...	400	...
Penetración (0,1 mm)	D5	140	...	80	...	60	...	50	...	40	...
Flash point (°C)	D92	177	...	219	...	232	...	232	...	232	...
Solubilidad (%)	D2042	<b>99</b>	...	<b>99</b>	...	99	...	99	...	99	...
<b>Ensayos en residuo de asfalto, después de ensayo de película delgada, ASTM D1754</b>											
Viscosidad absoluta (poise)	D2171	2500	...	10000	...	10000	...	15000	...	20000	...
Ductilidad (cm)	D113	100	...	50	...	50	...	40	...	25	...

*Fuente: Manual del asfalto-Institute, A.*

### **2.3. CONCEPTOS Básicos de Mezclas Asfálticas**

#### **2.3.1. Definición de mezclas asfálticas**

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, en las capas inferiores de los pavimentos para tráfico pesados intensos, entre otros.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico.

Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto.

El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

### **2.3.2. Clasificación de las mezclas asfálticas**

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

#### **a) Por fracciones de agregado pétreo empleado**

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

#### **b) Por la temperatura de puesta en obra**

- Mezclas asfálticas en caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 °C, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores al ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.
- Mezclas asfálticas en frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

#### **c) Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica**

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas cerradas o densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.
- Mezclas semi-cerradas o semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10%.
- Mezclas abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.
- Mezclas porosas o drenantes: La proporción de vacíos supera el 20%.

**d) Por el tamaño máximo del agregado pétreo**

- Mezclas gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- Mezclas finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

**e) Por la estructura del agregado pétreo**

- Mezclas con esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- Mezclas sin esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

**f) Por la granulometría**

- Mezclas continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.

- Mezclas discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

A continuación, en la tabla 2-3 se presenta un resumen de los tipos parámetros de clasificación de las mezclas asfálticas:

Tabla N° 2-3 Clasificación de las mezclas asfálticas

<b>Parámetro de clasificación</b>	<b>Tipo de mezcla</b>
<b>Fracciones de agregado empleado</b>	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
<b>Temperatura de puesta en obra</b>	En frío
	En caliente
<b>Huecos en la mezcla (h)</b>	Cerradas ( $h < 6\%$ )
	Semicerradas ( $6\% < h < 12\%$ )
	Abiertas ( $h > 12\%$ )
	Porosas ( $h > 20\%$ )
<b>Tamaño máximo del agregado (t max)</b>	Gruesas ( $t \text{ max} > 10\text{mm}$ )
	Finas ( $t \text{ max} < 10\text{mm}$ )
<b>Estructura del agregado</b>	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
<b>Granulometría</b>	Continuas
	Discontinuas

*Fuente: Manual de diseño de mezclas asfálticas*

### 2.3.3. Tipología de las mezclas asfálticas

#### 2.3.3.1. Mezcla asfáltica en caliente

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto,

eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los pavimentos. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características.

Se fabrican con asfaltos, aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en peso de agregados pétreos.

#### **2.3.3.2. Mezcla asfáltica en frío**

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas. Se usan además en las bases y capas intermedias, su mayor utilidad está en el mantenimiento, llámese reciclado, microsurfacing o estabilización.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado, el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión.

El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

### **2.3.2.1. Mezcla porosa o drenante**

Las mezclas drenantes o porosas son mezclas asfálticas utilizadas como “carpeta de rodadura” que se caracterizan por tener un elevado porcentaje de huecos (entre 16 y 25%) interconectados entre sí que permiten el paso del agua superficial a través de ella y su rápida evacuación hacia las zonas laterales fuera de la calzada.

Este elevado porcentaje de huecos se logra mediante el uso de una granulometría especial: un alto porcentaje de áridos gruesos (alrededor del 85%), poco fino y aporte de filler.

## **2.4. CARACTERÍSTICAS Y METOLOGÍAS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

### **2.4.1. Definición de mezclas asfálticas en caliente**

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior al ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los pavimentos. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características.

Se fabrican con asfaltos, aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en peso de agregados pétreos.

#### **2.4.2. Conservación y vida útil de las mezclas en caliente**

La falta en este tipo de pavimentos viene dada principalmente por dos causas:

- Disgregación de la mezcla; ocurre producto a los esfuerzos tangenciales del tráfico. Su aparición se manifiesta con fisuras, peladuras de áridos y una incipiente pérdida de regularidad superficial, tanto longitudinal como transversalmente.
- Las fisuras por reflexión en los pavimentos; se generan por el movimiento de los bloques flexibles de la capa inferior ocasionados por las cargas de los vehículos y/o cambios de temperatura, los cuales dan lugar a esfuerzos de corte y tensión en las zonas ubicadas inmediatamente sobre la discontinuidad de la nueva capa asfáltica.

Para conservar la permeabilidad de la mezcla, se está trabajando y avanzando en el diseño de los equipos para realizar rehabilitaciones de fisuras, compuesto hasta ahora con la aplicación de sistemas de membranas (S.A.M.I.) GEOTEXTILES.

De la experiencia de este sistema de rehabilitación utilizada en países como: Argentina, Colombia, Brasil, etc, se estimaron que dieron buenos resultados así estar satisfechos de los resultados.

#### **2.4.3. Especificaciones técnicas para el ligante de una mezcla en caliente**

Los ligantes para mezclas en caliente serán cementos asfálticos. Las diversas normas extranjeras proponen ciertos requisitos que deben cumplir, los cuales se presentan en la tabla 2-4.

Tabla N° 2-4 Requisitos del cemento asfáltico

Ensayo	Norma AASHTO	Exigencia				
		Chilena	Colombiana		Argentina	
			Tipo I	Tipo II	AM2	AM3
Penetración a 25 ° C 100 gr. 5 seg., 0,1 mm	T49	60-80	55-70	55-70	50-80	50-80
Punto de ablandamiento ° C	T53	>65	>58	>58	>60	>65
Recuperación elástica %	T301	>60	>15	>15	>40	>70
Punto de flama ° C	T48	>235	>230	>230	>230	>230
Ductilidad 25° C 5cm/min	T51	>100	...	...	...	...

*Fuente: Manual de diseño de mezclas asfálticas*

#### 2.4.4. Especificaciones técnicas para los agregados de mezclas en caliente

Los agregados, constituyen una parte importante, ya que ayudan al comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica. Son fragmentos duros e inertes, que incluyen grava, gravillas, arena, roca y polvo de roca. En la mezcla para pavimentos asfálticos el agregado aporta del 90 – 95% de la mezcla. Por tal motivo, la dosificación asfalto agregado es muy importante y requiere un control muy riguroso, especialmente en la granulometría. Una buena composición de agregado grueso y fino, proporciona a la mezcla mejor densidad, estabilidad y menor porosidad, resultando una mezcla más compacta y resistente, garantizando un buen comportamiento durante su período de vida.

##### 2.4.4.1. Agregado grueso

Se define como agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (No.4) según la ASTM E-11. Este agregado deberá provenir de la desintegración de roca, de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin presencia exagerada de partículas planas, alargadas, blandas, deberá estar exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias que puedan impedir la adhesión completa del asfalto o afecten adversamente la durabilidad de la

mezcla compactada. En la tabla 2-5 se presenta los requisitos que debe cumplir el agregado grueso para mezclas caliente.

*Tabla N° 2-5 Requisitos del agregado grueso*

Ensayo	Norma	Exigencia		
		Chilena	Colombiana	Argentina
Partículas trituradas en dos caras	ASTM D-5821	>98	>70%	>75%
Índice de lajas	AASHTO C-142	<25%	...	<25%
Coefficiente de desgaste los Ángeles	ASTM C-131	<20%	<25%	<25%
Durabilidad por ataque con sulfato de sodio	ASTM C-88	...	<12%	<10%
Índice de plasticidad	ASTM D-4318	Ninguna	N.P.	No plástico
Adherencia método estático	ASTM D-1664	>95%	...	>95%

*Fuente: Manual de diseño de mezclas asfálticas*

#### **2.4.4.2. Agregado fino**

Se llama agregado fino a la porción del agregado comprendida entre los tamices No. 4 y N 200 según la norma ASTM-11. El agregado fino debe cumplir con los requisitos de la tabla 2-6.

*Tabla N° 2-6 Requisitos del agregado fino*

Ensayo	Norma	Exigencia		
		Chilena	Colombiana	Argentina
Índice de plasticidad	ASTM D-43	No plástico	No plástico	No plástico

*Fuente: Manual de diseño de mezclas asfálticas*

#### **2.4.4.3. Relleno mineral (filler)**

Se denomina como filler aquella fracción que pasa por la malla N° 200 según la norma ASTM E-11. Debe proceder de los agregados pétreos o de productos comerciales como cemento hidráulico y cal hidratada. Debe estar libre de partículas de arcilla y de materia orgánica.

El filler total deberá estar formado por un mínimo de 50% de aportación y el porcentaje restante proveniente de los agregados grueso y fino.

Si se utilizan los materiales comerciales como filler de aporte en este tipo de mezclas, se recomienda no superar el valor de la misma al 3% del peso total de los agregados pétreos.

#### 2.4.4.4. Mezcla de agregados

El conjunto de agregado grueso, agregado fino y filler deberá ajustarse a la gradación indicada en la siguiente tabla 2-7.

Un problema que se presenta a menudo es el de determinar en qué proporción mezclar dos o más materiales para cumplir una cierta gradación que cumpla con los requisitos establecidos por las normas, para los tamices que especifica esta.

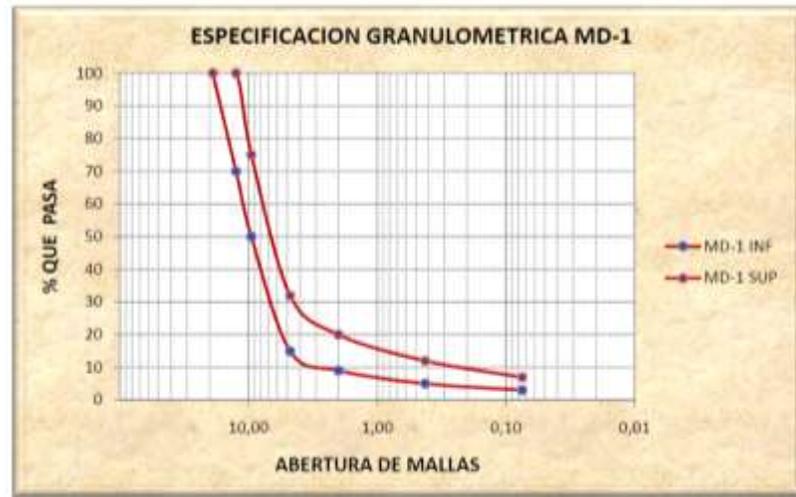
*Tabla N° 2-7 Franja granulométrica para mezclas en caliente*

Tamiz ASTM	Tamiz (mm)	MD-1	
		Esp. Inf.	Esp. Sup.
¾"	19.00	95,00	100,00
½"	12.50	85,00	100,00
3/8"	9.50	75,00	100,00
<b>Nro. 4</b>	4.75	50,00	85,00
<b>Nro. 10</b>	2.00	30,00	75,00
<b>Nro. 40</b>	0.43	15,00	40,00
<b>Nro. 80</b>	0.16	8,00	30,00
<b>Nro. 200</b>	0,08	5,00	10,00

Fuente: Elaboración propia

Se busca que la curva granulométrica encaje en estos límites, con el objeto de obtener un alto contenido de vacíos en la mezcla, además, para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la especificación; el material a producir deberá dar lugar a una curva granulométrica sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior del tamiz adyacente y viceversa.

Gráfica N° 2-1 Especificación granulométrica MD-1



Fuente: Teoría de mezclas asfálticas-Institute, A.

## 2.4.5. Metodología de diseño de mezclas asfálticas en caliente

### 2.4.5.1. Método Marshall

- El método Marshall usa muestras de prueba normalizadas (briquetas) de 2" y ½" de espesor por 4" de diámetro (64 x 102 mm).
- Se selecciona el agregado que cumpla con las especificaciones requeridas. El tipo y grado del asfalto, de acuerdo al tipo de agregado y las condiciones climáticas.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se preparan y compactan una serie de muestras de prueba (briquetas), con distintos porcentajes de asfalto cuyo rango de variación no debe ser mayor a 0,5%. Como mínimo se debe incluir dos porcentajes por encima y dos por debajo del óptimo de contenido de asfalto estimado.

Para verificar la idoneidad de los datos se deben hacer tres muestras (briquetas) por cada contenido de asfalto. Generalmente para un diseño, se deben tomar 6 porcentajes de asfalto diferentes, por lo cual se requerirán 18 briquetas. Se necesitan 1200 g de

agregados, por lo cual la cantidad representativa de los agregados, debe tener un peso mínimo de 29 kg.

### **Equipo**

Entre los elementos más importantes del equipo necesario para la elaboración de los núcleos de prueba, se pueden citar los siguientes:

Horno y placa calentadora eléctrica, para calentar los materiales, Horno aireador para el curado de las mezclas.

Termómetro blindado de vidrio o dial con varilla para lecturas entre 50 °F (10 °C) y 450 °F (232 °C).

Balanza de 2 kg de capacidad, con aproximación a 0,1 g, balanza de 5 kg con aproximación a 1 g.

Pedestal para compactación, que consta de un soporte de madera, sobre el cual descansa una placa de acero de 12" x 12" x 1" (305 x 305 x 25 mm).

Molde de compactación que consta de una base, molde encofrado y collar de extensión. El molde tiene un diámetro interior de 4" (101,6 mm) y una altura aproximadamente 3" (76 mm). La base y el collar están diseñados para intercambiarse ya sea a uno u otro lado del molde.

Martillo de compactación, que consta de una barra achatada que cae deslizándose sobre una guía y un pisón de cara circular de 3 <sup>7</sup>/<sub>8</sub>" (98,4 mm). La barra pesa 10 libras (4,5 kg) y tiene una caída (guía) de 18" de altura.

Soporte del molde, que consta de un dispositivo de tensión elástica, diseñado para acoplar el molde sobre el pedestal de compactación.

Extractor de muestra o prensa para extraer la muestra (briqueta) ya compactada.

Accesorios como cucharas, espátula, mezclador mecánico.

#### 2.4.6. Comportamiento de las mezclas asfálticas

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

- Densidad de la mezcla.
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

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

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) o libras por pie cúbico ( $\text{Lb}/\text{ft}^3$ ).

La densidad se calcula al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ( $1000\text{Kg}/\text{m}^3$  o  $62.416\text{Lb}/\text{ft}^3$ ). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no adecuado. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que muy rara vez la compactación in-situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación del laboratorio.

**Vacíos de aire, (o simplemente vacíos):** Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan

cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional.

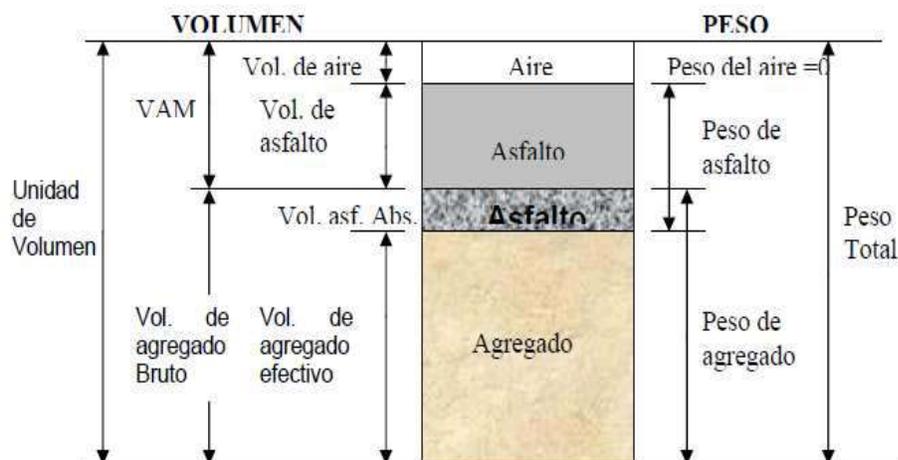
La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa.

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

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción en el agregado).

Y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VMA, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

*Figura N° 2-6 Representación de los volúmenes en una briqueta compactada de mezcla asfáltica.*



*Fuente: Teoría de mezclas asfálticas*

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VAM. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores VAM por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contra prudente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VAM para economizar en el contenido de asfalto.

**Contenido de asfalto:** La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción.

La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir uniformemente todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral. Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber literalmente gran parte del contenido de asfalto resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario; poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda).

Cualquier variación en el contenido de relleno mineral, causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado relleno mineral cualquier ajuste arbitrario para corregir la situación, probablemente la empeora. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo en unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y si es necesario establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado utilizado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se pueda cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto.

Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido; contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados.

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

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregado, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

## **2.5. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES GRANULARES**

**Agregado mineral:** Conocido como roca, material granular o agregado mineral es cualquier material duro e inerte utilizado en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento asfáltico. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca.

### **2.5.1. Ensayos a los agregados**

Los agregados que se utilizarán para el diseño de la mezcla asfáltica, son agregados procesados, con un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ".

Los ensayos que serán realizados a las fracciones de agregados a ser utilizados en el diseño de la mezcla son:

### **Método para extraer y preparar muestras (ASTM C 75 AASHTO T2-91)**

El objeto de este método establece los procedimientos para extraer y preparar las muestras representativas de áridos finos, gruesos para fines de ensayo.

El tamaño de la muestra de laboratorio será la necesaria dependiendo del tipo de ensayo que será sometido el material, generalmente las cantidades mínimas requeridas para los ensayos básicos de calidad son las siguientes árido fino 30kg árido grueso 60kg aproximadamente.

La extracción de la muestra será de material manufacturado de tolvas o depósitos o bien desde acopios. La extracción será del acopio de agregado de la planta de asfalto que se encuentra ubicada en la comunidad el Molino cantón Izcayachi.

#### **2.5.1.1. Ensayo para tamizar y determinar la granulometría (ASTM D-422)**

El análisis granulométrico tiene como objeto, que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en la mezcla asfáltica caliente en ciertos porcentajes.

Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla.

El método utilizado para determinar la graduación de los agregados es por tamizado seco, el mismo que tiene las siguientes características:

- Las muestras para el tamizado son reducidas por medio de un “cuarteador” de muestras.
- Los materiales finos y gruesos son separados utilizando un tamiz de 2.36 mm (N°8).
- Las muestras son secadas en el horno hasta un peso constante.
- Las muestras finas y las muestras gruesas son tamizadas separadamente.

- El peso de las fracciones (porciones) retenidas en cada tamiz, y el platón que esta al final de los tamices, es registrado, así como la graduación de cada muestra (parte fina y parte gruesa).

La granulometría utilizarse está expuesta de acuerdo a la tabla 2-8.

**Tabla N° 2-8 Franja granulométrica para mezclas asfálticas en caliente**

Tamiz ASTM	Tamiz (mm)	MD-1	
		Esp. inf.	Esp. sup.
¾"	19.00	95,00	100,00
½"	12.50	85,00	100,00
3/8"	9.50	75,00	100,00
<b>Nro. 4</b>	4.75	50,00	85,00
<b>Nro. 10</b>	2.00	30,00	75,00
<b>Nro. 40</b>	0.43	15,00	40,00
<b>Nro. 80</b>	0.16	8,00	30,00
<b>Nro. 200</b>	0,08	5,00	10,00

Fuente: Elaboración propia

#### **2.5.1.2. Gravedad específica en agregados finos (AASTHO T-84)**

El método es como sigue:

1. Aproximadamente 1000 gr. de agregado fino se seca a peso constante.
2. Se sumerge el material por 24 horas en agua.
3. La muestra se extiende en una superficie plana y se expone a una corriente de aire caliente.
4. La condición saturada superficialmente seca se alcanza cuando el material cae al invertirse el cono en el que la muestra del material fue suavemente compactada.

5. Aproximadamente 500 gr. del material en la condición saturada superficialmente seca se colocan en un matraz que se llena con agua y se eliminan los aires atrapados.
6. El agregado se saca del matraz, se seca al horno a peso constante.
7. La gravedad específica se calcula de la siguiente manera:

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$G_{ssb} = \frac{D}{B + D - C}$$

$$\text{Absorción} = \left[ \frac{D - A}{A} \right] * 100$$

**Dónde:**

**A**= Peso en el aire del agregado seco al horno, gr.

**B**= Peso del matraz (picnómetro) con agua, gr.

**C**= Peso del matraz (picnómetro) con el agregado y agua hasta la marca, gr.

**D**= Peso del material saturado superficialmente seco (500+10 gr)

**2.5.1.3. Gravedad específica en agregados gruesos (AASHTO T-85)**

La muestra a ser evaluada se satura y pesa en su condición saturada superficialmente seca,. El procedimiento es como sigue:

1. Aproximadamente 5 kg. de material retenidos en la malla N°4 (4.75 mm) se lava y seca hasta que alcance peso constante.
2. La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua.
3. Los agregados se sacan del agua y secan superficialmente con ayuda de una toalla.
4. Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca.

5. La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el peso de la muestra sumergido en agua.
6. La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante.
7. La gravedad específica se calcula según:

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

$$G_{sa} = \frac{A}{B - C}$$

$$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Absorción}(\%) = \left[ \frac{B - A}{A} \right] * 100$$

**Dónde:**

**A**= Peso en el aire del agregado seco al horno, gr.,

**B**= Peso en el aire del agregado saturado superficialmente seco, gr.

**C**= Peso del agregado saturado superficialmente seco sumergido en agua, gr.

**2.5.1.4. Ensayo para determinar el desgaste mediante la Máquina de los Ángeles (ASTM E 131 AASHTO T96-99).**

El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina de los Ángeles.

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través de los puntos de contacto donde actúan presiones altas. El ensayo de Desgaste de los Ángeles, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculándose como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial.

Porcentaje de Desgaste:

$$\%P = \frac{w_1 - w_2}{w_1} * 100$$

Entre menor sea el porcentaje de desgaste obtenido en el ensayo, mayor será la resistencia de los materiales para soportar la abrasión producida por efecto de las cargas del tránsito vehicular.

El desgaste máximo permisible es de 25%. De acuerdo a la graduación del material existen 4 tipos de abrasión.

## **2.6. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO**

### **2.6.1. Ensayo del asfalto**

El tipo de asfalto a usar para el diseño de la mezcla en caliente consiste en un asfalto tipo BETUPEN PLUS 85-100.

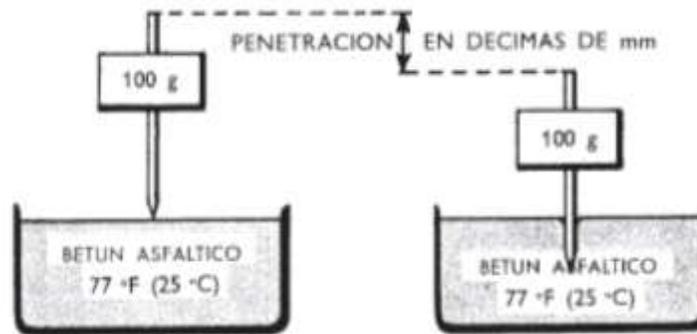
Los ensayos que se realizaran son los siguientes:

#### **2.6.1.1. Ensayo de penetración (ASTM D-5)**

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un asfalto, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetre verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25°C, que la aguja está cargada con 100 gr y que la carga se aplica durante 5 s (ver figura 2-7), La penetración determinada en estas condiciones se llama

penetración normal. Es evidente que cuanto más blando sea el asfalto mayor será la cifra que indique su penetración.

Figura N° 2-7 Ensayo normal de penetración



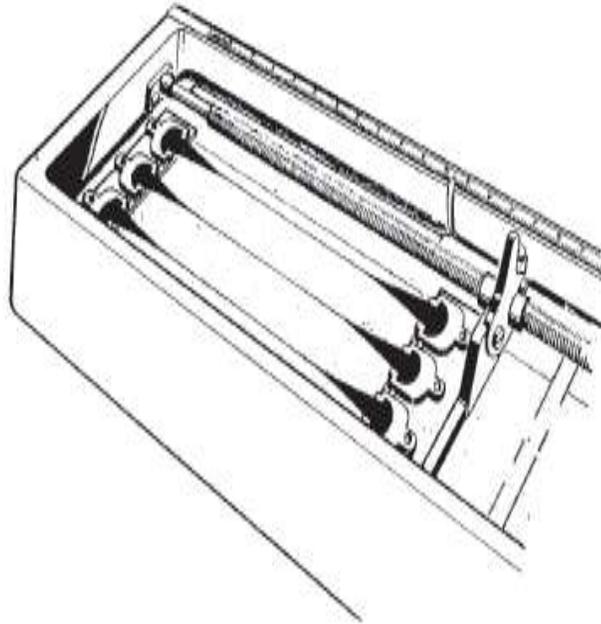
Fuente: Manual del asfalto-Institute, A.

#### 2.6.1.2. Ensayo para determinar la ductilidad (ASTM D- 113)

Es una característica de los asfaltos importante en muchas aplicaciones. La presencia o ausencia de ductilidad, sin embargo, tiene usualmente mayor importancia que el grado de ductilidad existente. Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos que les falta esta característica. Por otra parte, los asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación, tienen gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, mientras que en otras, como la inyección bajo losas de hormigón y el relleno de grietas, la propiedad más esencial es una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura.

La ductilidad del asfalto se mide en un ensayo de extensión del tipo representado en la figura 2-8. El ensayo consiste en moldear en condiciones y con dimensiones normalizadas una probeta de asfalto que después se somete a la temperatura normalizada del ensayo y se somete a alargamiento con una velocidad especificada hasta que el hilo que une los dos extremos rompe. La longitud (en cm) a la que el hilo de material se rompe define la ductilidad.

Figura N° 2-8 Ensayo de ductilidad



Fuente: Manual del asfalto-Institute, A.

### **2.6.1.3. Ensayo para determinar la viscosidad cinemática (ASTM E-102)**

La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a la temperatura que se emplea durante su aplicación. La viscosidad o consistencia del asfalto se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol, se emplea un viscosímetro Saybolt con orificio furol. Se coloca en un tubo normalizado cerrado con un tapón de corcho una cantidad específica de asfalto. Como la temperatura a que se determina la viscosidad de los asfaltos son frecuente mente superior a los 100°C, el baño de temperatura constante del viscosímetro se llena con algún tipo de aceite. Cuando el asfalto a alcanzado una temperatura establecida, se quita el tapón y se mide el tiempo necesario en segundos para que pasen a través del orificio furol 60 ml del material.

Cuanto más viscoso son los materiales más tiempo es necesario para que pasen a través del orificio.

#### 2.6.1.4. Punto de inflamación (ASTM D-92).

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el ligante asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto.

El punto de inflamación de un asfalto se mide por el ensayo en vaso abierto cleveland, según condición normalizada prescrita en el método ASTM D-92. En la figura 2-9 se representa esquemáticamente el ensayo. Un vaso abierto de latón se llena parcialmente con asfalto y se calienta a una velocidad establecida. Se hace pasar periódicamente sobre la superficie de la muestra una pequeña llama, y se define punto de llama la temperatura a la que se han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina.

Figura N° 2-9 Ensayo del punto de inflamación



Fuente: Manual del asfalto-Institute, A.

## **2.7. CARACTERIZACIÓN DE FISURAS POR REFLEXIÓN**

### **2.7.1. Definición de fisuras por reflexión.**

Reflexión, es el cambio de la dirección o del sentido de propagación de fisuras presentadas en los pavimentos.

La fisura por reflexión en mezclas asfálticas ocurre cuando estas son colocadas directamente sobre capas estructurales de pavimento fisuradas, como es el caso de carpetas de rehabilitación colocadas sobre carpetas asfálticas deterioradas. El movimiento de los bloques asfálticos en la capa inferior, debido a las cargas de los vehículos y los cambios de temperatura, genera esfuerzos de corte y/o tensión en la mezcla asfáltica colocada inmediatamente sobre la discontinuidad, generando fisuras en la mezcla. La aparición de estas fisuras sobre la mezcla asfáltica ocurre poco después de su colocación y se los conoce fisuras por reflexión debido a que se presentan como un reflejo de las fisuras en la capa inferior.

### **2.7.2. Fisuración de los pavimentos asfálticos**

En la superficie de rodadura de una carretera, es la aparición de fisuras, lo cual conlleva el ingreso del agua que penetrará más fácilmente en las capas inferiores del firme y se producirá un deterioro más acelerado del material.

**Figura N° 2-10 Fisuración en los pavimentos flexibles**



Fuente: Teoría de fisuración de pavimentos

### **2.7.3. Mecánica de las fisuras**

#### **2.7.3.1. Fatiga por reflexión**

La Agencia Federal de Aviación de los Estados Unidos (FAA por sus siglas en inglés de The Federal Aviation Administration) definió fatiga por reflexión como las fisuras en una sobrecarpeta en mezcla asfáltica en caliente que son reflejadas por las fisuras o patrón de juntas en el pavimento subyacente (Von-Quintus et al. 2010). La causa de la fatiga por reflexión es el resultado de las cargas de los vehículos combinado con los efectos ambientales. Las fisuras pueden iniciarse en la superficie o en la parte inferior de la sobrecarpeta asfáltica y la velocidad de propagación dependerá del espesor y propiedades de la mezcla asfáltica, del uso o no de refuerzo (sistemas de membrana antifisura S.A.M.I.) y de la condición de la estructura a rehabilitar.

#### **2.7.4. Mecanismos de fatiga por reflexión**

De acuerdo con Von-Quintus et al. (2010) el mecanismo principal que genera la fatiga por reflexión son los movimientos verticales y horizontales entre la capa rígida fisurada y la sobrecarpeta en mezclas asfálticas. Los tipos de movimientos que generan la fatiga por reflexión se presentan en la figura. Las fisuras pueden ser causadas por movimientos horizontales que resultan de la expansión y contracción por cambios de temperatura en las capas asfálticas o por movimientos verticales en las juntas entre bloques por el paso de los vehículos.

## **2.8. DEFINICIONES Y CARACTERÍSTICAS DE MEMBRANA ANTIFISURA (GEOTEXTILES)**

### **2.8.1. Geotextiles**

Filtro o manto, cuyas funciones se basan en la capacidad de filtración y en sus altas resistencias mecánicas, siendo éstas: separar, filtrar, drenar, reforzar y proteger. Pueden fabricarse de diferentes formas y sus aplicaciones abarcan prácticamente todos los campos de la ingeniería civil en donde se esté en contacto con el terreno (LEMaC: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata).

**Figura N° 2-11 Rollo de geotextil**



Fuente: Manual de geotextiles – BASF THE CHEMICAL COMPANY

Los geotextiles se definen como “un material textil plano, permeable, polimérico (sintético o natural) que puede ser no tejido, tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo (tierra, piedras, etc.) u otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas” (Manual de diseño con geosintéticos – Geosoft\_Pavco)

## **2.8.2. Clasificación de geotextiles en función del método de fabricación**

### **2.8.2.1. Geotextiles tejidos**

Son estructuras planas y regulares producidas a través del entrelazamiento, generalmente en ángulos rectos, de dos o más juegos de hilos en dos direcciones preferenciales, que constituyen así los hilos de urdidura (paralelos al sentido de producción) y los hilos de la trama (perpendiculares a los hilos de urdidura), pueden ser tejidos de calada o tricotados (Manual de diseño con geosintéticos – Geosoft\_Pavco).

Los tejidos de calada son los formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto (Manual de diseño con geosintéticos – Geosoft\_Pavco).

Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotasas y circulares, o Ketten y Raschel. Su estructura es tridimensional.

**Figura N° 2-12 Geotextiles tejidos**

**Geotextil tejido (T 4000)**



**Geotextil tejido (T 1700)**



Fuente de las fotografías: Manual de geotextiles PAVCO (Colombia)

### **2.8.2.2. Geotextiles no tejidos**

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. (Manual de diseño con geosintéticos – Geosoft\_Pavco)

Los geotextiles fabricados por este proceso tienen buenas características mecánicas manteniendo un espesor uniforme, el cual les confiere mayor estructura tridimensional, gran elongación (pueden estirarse desde un 40% hasta un 120% o más, antes de entrar en carga de rotura) lo que les proporciona muy buena adaptación a las irregularidades

de los terrenos, unas excelentes propiedades para protección, (suele denominarse efecto colchón) y muy buenas funciones de filtración y separación.

**Figura N° 2-13 Geotextiles no tejidos**

**Geotextil no tejido PAVCO (REPAV 300)**



**Geotextil no tejido (NT 1600)**

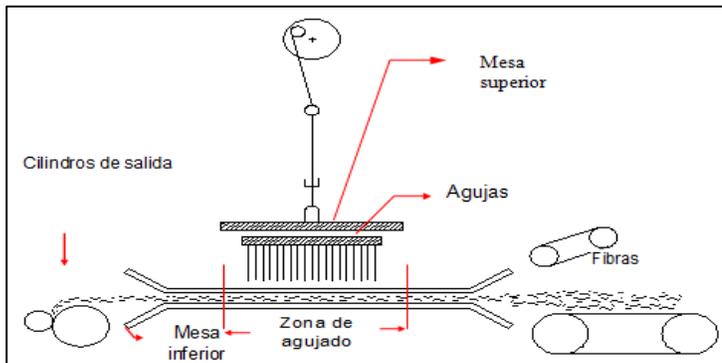


**Geotextil no tejido (NT 7000)**

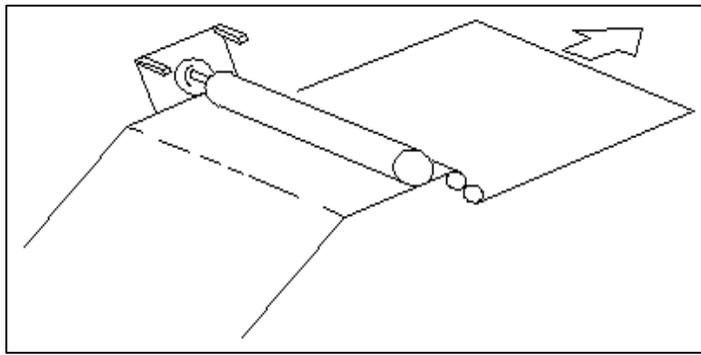


Fuente de las fotografías: Manual de geotextiles (Colombia)

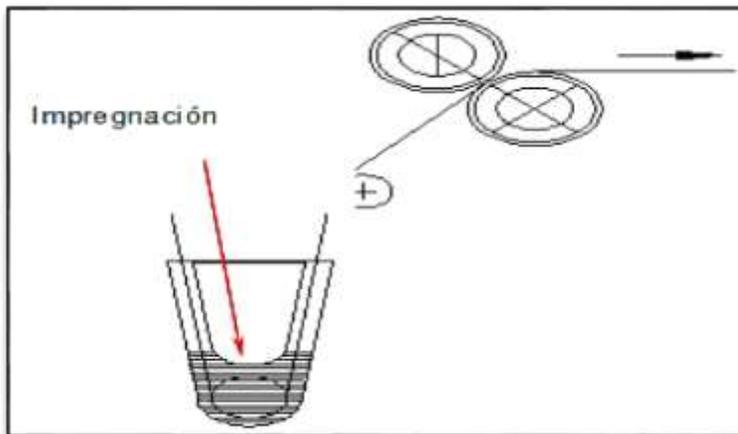
**Figura N° 2-14 Procesos de fabricación de geotextiles**



**Proceso mecánico:**  
Entrelazamiento de fibras o filamentos por medio de agujas dentadas (agujados).



**Proceso térmico:**  
Ligamiento de las fibras o filamentos a través de la fusión parcial por calentamiento (termofijación).



**Proceso químico:**  
Ligamiento de las fibras o filamentos por medio de productos químicos (resinas).

Fuente: Manual de  
diseño con geosintéticos-geosoft PAVCO

### 2.8.3. Definición de rehabilitación

**Rehabilitación:** Es el conjunto de técnicas y métodos que sirven para recuperar una función o actividad del cuerpo que ha disminuido o se ha perdido a causa de su utilización.

### 2.8.4. Características del geotextil no tejido GTX-300-PP

PAVCO, es un geotextil no tejido de PP, conformado por un sistema de fibras, punzonado por agujas. Este geotextil se produce en plantas de fabricación con altos estándares, bajo un sistema de gestión de calidad. Es altamente resistente a la degradación biológica y química que normalmente se encuentra en los suelos. Los valores de las propiedades que aparecen en esta especificación están en relación a los certificados de calidad de geotextiles del fabricante.

**Tabla N° 2-9 Especificaciones técnicas del geotextil no tejido GTX-300**

<b>Propiedades</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor MARV</b>
<b>Resistencia a la tensión grab.</b>	ASTM D 4632	N	950,00
<b>Elongación</b>	ASTM D 4632	%	>50,00
<b>Resistencia a la tensión-tira ancha</b>	ASTM D 4595	KN/m	15,00
<b>Elongación</b>	ASTM D 4595	%	>50,00
<b>Resistencia al punzonado</b>	ASTM D 4833	N	630,00
<b>Resistencia al punzonamiento CBR</b>	ASTM D 6241	KN	3,00
<b>Resistencia al desgaste trapezoidal</b>	ASTM D 4533	N	350
<b>Resistencia al reventamiento</b>	ASTM D 3786	K Pa	2750

Fuente: Manual de geotextiles PAVCO

<b>Propiedades</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor MARV</b>
<b>Tamaño de abertura aparente</b>	ASTM D 4751	mm	0,15
<b>Tasa de flujo</b>	ASTM D 4491	L/min/m <sup>2</sup>	4200
<b>Permitividad</b>	ASTM D 4491	s <sup>-1</sup>	1,40
<b>Permeabilidad</b>	ASTM D 4491	cm/s	0,50
<b>Espesor</b>	ASTM D 5199	mm	3,60
<b>Masa por unidad de área (típico)</b>	ASTM D 5261	g/m <sup>2</sup>	230,00
<b>Resistencia a rayos UV % ret a 50 hr</b>	ASTM D 4355	%	>70,00
<b>Rollo ancho</b>		m	4,00
<b>Rollo largo</b>		m	100,00
<b>Rollo área</b>		m <sup>2</sup>	400,00

Fuente: Manual de geotextiles PAVCO

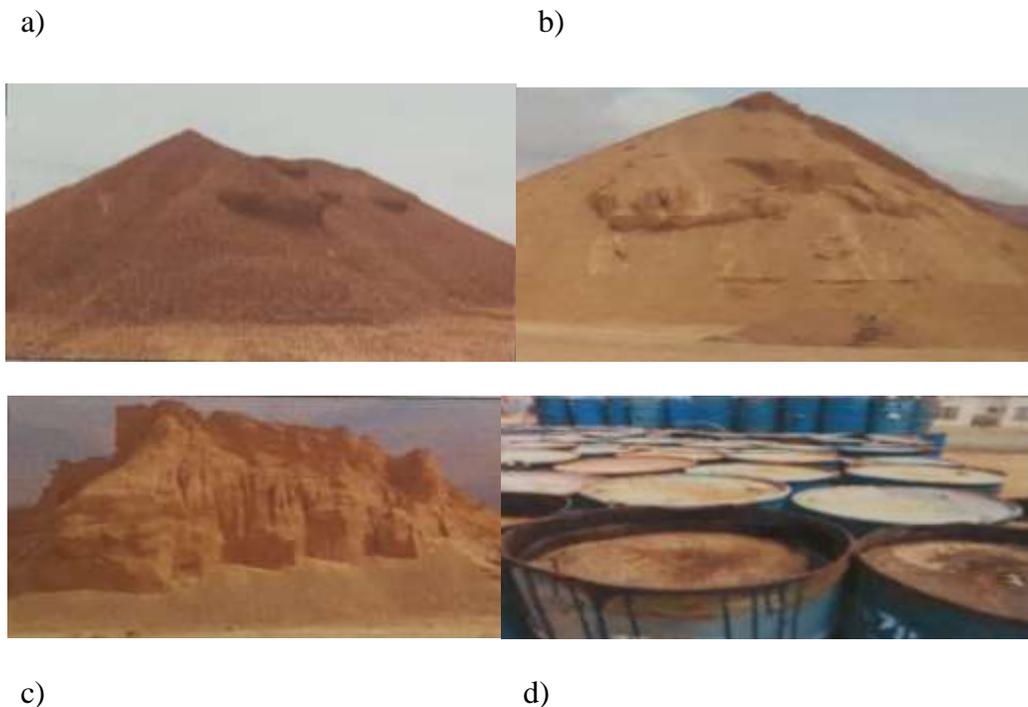
### CAPÍTULO III

#### INVESTIGACIÓN SOBRE LA INCIDENCIA DE SISTEMAS DE MEMBRANA ANTIFISURA (S.A.M.I.) EN LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FISURADOS POR REFLEXIÓN.

##### 3.1. UBICACIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales componentes a utilizarse en el diseño de la mezcla asfáltica se ubican en el acopio de la planta de asfalto (Consortio vial Copacabana) ubicada en la comunidad el Molino cantón Izcayachi municipio el Puente (ver la figura 3-1). Se utilizará material de grava  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{3}{8}$ " y material fino para poder obtener una granulometría combinada que cumpla con la banda granulometría MD-1 según el artículo 453 de las normas INV de origen colombiano.

**Figura N° 3-1 Acopio de material pétreo en la planta de asfaltos el molino a) agregado de  $\frac{3}{4}$ ", b) agregado  $\frac{3}{8}$ ", c) agregado fino, d) Asfalto Betupen Plus 85-100.**



Fuente: Elaboración propia

El ligante a utilizar es un asfalto Betupen plus 85-100 de precedencia brasilera (empresa STRATURA ASFALTOS).

### **3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS**

En el capítulo II se detallaron las especificaciones técnicas que deben cumplir los materiales para estas mezclas asfálticas, según la norma ABC.

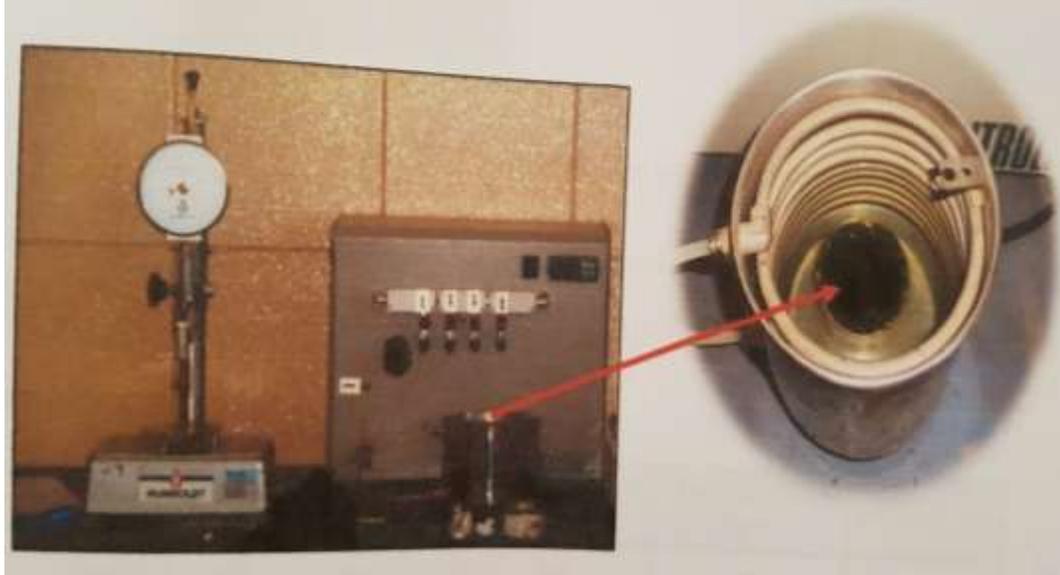
o

Para caracterizar y evaluar la calidad del ligante asfáltico existen diversos ensayos tradicionales que tratan de reproducir el comportamiento a escala real del material, la importancia del conocimiento de los requisitos y exigencias de calidad del ligante asfáltico tanto por parte del productor, comercializador, transportista, contratista y fiscalizador es de rigor necesario y está supeditado al procedimiento para la aceptación de un ligante asfáltico en trabajos de pavimentación.

A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de ellos y se enuncia la norma que los rige.

#### **3.2.1.1. Ensayo de penetración (ASTM D-5)**

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realizará a 25°C durante un tiempo de 5 s. y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g.

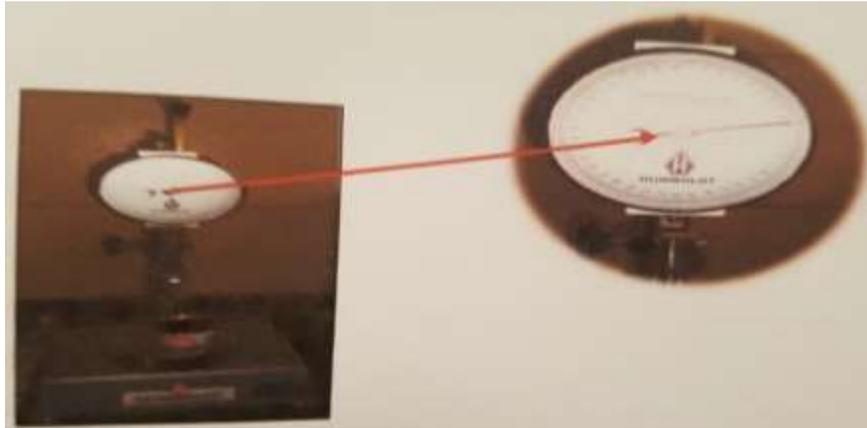
**Procedimiento del ensayo:****Figura N° 3-2 Ensayo de penetración en muestras de asfalto**

Fuente: Elaboración propia

Primero se comprobó que el vástago soporte de la aguja está perfectamente limpio y seco, y que se desliza en forma suave y sin rozamiento sobre su guía. La aguja de penetración se limpia con tolueno u otro disolvente apropiado y se seca con un paño limpio, firmemente en su soporte.

Una vez transcurrido los tiempos de inmersión, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre. Se anota la lectura o se pone en cero el penetrómetro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado (ver figura 3-3). Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en decimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.

**Figura N° 3-3 Penetración en muestras**



Fuente: Elaboración propia

Se realizaron tres penetraciones en cada recipiente, sobre diferentes puntos de la superficie separados, como mínimo, 10 mm entre sí y de las paredes del recipiente.

**Resultados de la práctica:**

**Tabla N° 3-1 Resultado de ensayo de penetración**

<b>Molde</b>	<b>Penetración N° 1</b>	<b>Penetración N° 2</b>	<b>Penetración N° 3</b>	<b>Promedio</b>
<b>Molde N°1</b>	88,00	89,00	89,00,00	88,67
<b>Molde N° 2</b>	87,00	88,00	87,00	87,33
				88,00

Fuente: Elaboración propia

**3.2.1.2. Ensayo de ductilidad (ASTM D-113)**

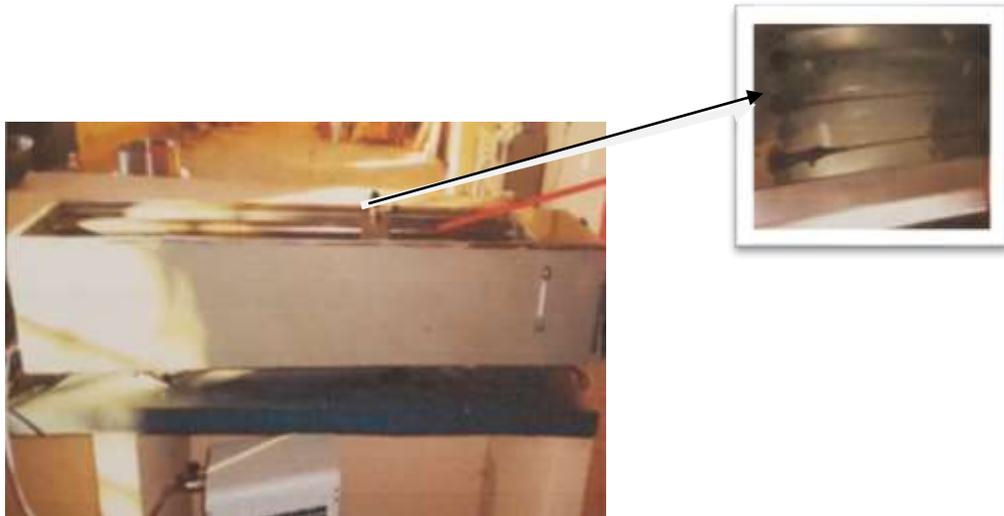
El ensayo de ductilidad, es la distancia en centímetro que una muestra normalizada de ligante asfáltico puede alargarse antes de que se rompa en dos. La ductilidad es medida en un equipo denominado “ductilímetro” mediante una prueba de “extensión” en donde

una probeta de ligante asfáltico es extendida o estirada a una velocidad de 5 Cm/minuto, en baño de agua de igual densidad y una temperatura  $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

**Procedimiento del ensayo:**

La probeta se monta en el ductilímetro, introduciendo cada pareja de clavijas de los sistemas fijos y móvil en los correspondientes orificios de cada pinza, poniendo a continuación en marcha el mecanismo de arrastre del ensayo a la velocidad especificada (ver figura 3-4), hasta que se produzca la rotura midiéndose la distancia en cm que se hayan separado ambas pinzas hasta este instante.

**Figura N° 3-4 Muestras estiradas antes de que se rompan**



Fuente: Elaboración propia

El material asfáltico entre las pinzas se va paulatinamente estirado hasta formar un hilo, produciéndose la rotura en un punto en el que el hilo no tiene apenas sección transversal.

**Resultados de la práctica:**

**Tabla N° 3-2 Resultado de ensayo de ductilidad**

Dato	Probeta N°1	Probeta N°2	Probeta N°3	Promedio
	cm	cm	cm	cm
<b>Muestra N°1</b>	107,50	108,00	119,00	107,75

Fuente: Elaboración propia

**3.2.1.3. Ensayo de punto de inflamación (ASTM D-92)**

El punto de inflamación del ligante asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el ligante asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan sólo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto.

**Procedimiento del ensayo:**

**Figura N° 3-5 Ejecución del ensayo punto de inflamación**



Fuente. Elaboración propia

Se registra como punto de inflamación, la lectura de temperatura sobre el termómetro cuando aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie. No debe confundirse la llama verdadera con el halo azulado que algunas veces rodea la llama de ensayo

**Resultado de la práctica:**

**Tabla N° 3-3 Resultado de ensayo de punto de inflamación**

<b>Punto de inflamación</b>	<b>Temperatura °C</b>
<b>Muestra N°1</b>	278

Fuente: Elaboración propia

**3.2.1.4. Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol (ASTM E-102)**

Este ensayo se empleó para el cemento asfáltico, en el cual se determinó el tiempo en segundos, necesarios para que pasen 60 centímetros cúbicos de líquido, a una temperatura determinada, a través de un tubo de dimensiones específicas. En esta investigación se determina a una temperatura de 135°C.

**Resultado de la práctica:**

El tiempo transcurrido entre el instante en el que se sacó el corcho y el instante en que el menisco de la muestra alcanzó la marca de calibración, en segundos, es de 125, a la temperatura de 135°C.

**3.2.1.5. Ensayo de peso específico (ASTM D-70)**

El peso específico del ligante asfáltico, material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25 °C.

**Procedimiento del ensayo:**

**Figura N° 3-6 Ejecución del ensayo peso específico del ligante**



Fuente: Elaboración propia

**Resultados de la práctica:**

**Tabla N° 3-4 Gravedad específica del ligante asfáltico**

Descripción	Unidad	1	2	3	Promedio
Peso picnómetro (a)	[grs].	188,40	190,80	210,80	
Peso picnómetro + agua (25°C) (b)	[grs].	430,60	431,00	441,00	
Peso picnómetro + muestra (d)	[grs].	304,60	302,20	318,60	
Peso picnómetro + agua + muestra (f)	[grs].	431,80	432,20	442,00	
Peso específico C.A. [(d-a)/(b+(d-a)-f)]	[grs/cm³].	1,010	1,011	1,009	<b>1,010</b>

Fuente: Elaboración propia

De los ensayos realizados, se tienen los siguientes resultados, los mismos que son comparados con su respectiva especificación exigida por la norma (ver tabla 3-5).

Observándose que todos y cada uno de los ensayos realizados cumplen con los requerimientos.

**Tabla N° 3-5 Resultados obtenidos comparación con especificaciones**

<b>Betupen plus 85-100</b>				
<b>Ensayos</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Norma</b>
<b>Viscosidad a 135°C Saybolt-Furol, SSF.</b>	100,00	-----	125,00	ASTM E-102
<b>Penetración (25°C, 100gr, 5s)mm/10</b>	85,00	100,00	88,00	ASTEM D-5
<b>Ductilidad (25°C, 5 cm/min), cm</b>	100,00	-----	107,50	ASTM D-113
<b>Punto de inflamación, copa cleveland,°C</b>	232,00	-----	278,00	ASTM D-92
<b>Gravedad específica</b>			1,01	ASTM D-70

Fuente: Elaboración propia

### **3.2.2. Ensayos en los agregados**

A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de ellos y se enuncia la norma que los rige. Los resultados obtenidos y la comparación con las especificaciones.

#### **3.2.2.1. Ensayos en los agregados grueso Máquina de los Ángeles (ASSHTO T-96)**

Este ensayo se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada maquina con una carga abrasiva.

**Procedimiento del ensayo:**

**Figura N° 3-7 Desgaste en la Máquina de los Ángeles**



Fuente: Elaboración propia

**Resultados de la práctica:**

**Tabla N° 3-6 Porcentaje de desgaste en la Máquina de los Ángeles**

<b>Pasado</b>	<b>Retenido</b>	<b>Cantidad tomada (gr)</b>
3/8"	1/4"	2500
1/4"	4"	2500
<b>Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm)</b>		3761

<b>Diferencia</b>	1239
-------------------	------

$\text{Desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$	<b>24,78%</b>
--	---------------

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2.2. Peso específico agregado fino (ASSTHO T-84)

#### Procedimiento del ensayo:

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

El peso específico aparente es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

**Figura N° 3-8 Muestra saturada del agregado fino**



Fuente: Elaboración propia

## Resultados de la práctica:

Tabla N° 3-7 Determinación del peso específico del agregado fino

Descripción	Unidad	1	2	Promedio
Peso frasco seco y vacío (u)	grs	158,00	158,00	
Peso frasco + grs muestra (f)	grs	458,00	458,00	
Peso muestra saturada de superficie seca	grs	300,00	300,00	
Peso muestra seca (a=f-u)	grs	290,60	291,00	
Peso frasco + agua(t)	grs	657,80	657,80	
Peso frasco + muestra + agua (b)	grs	840,80	840,60	
Volumen frasco (t-u)	cm <sup>3</sup>	499,80	499,80	
Peso espec. del agregado seco	grs/cm <sup>3</sup>	2,48	2,48	2,48
P. E. A. saturado sup. seca	grs/cm <sup>3</sup>	2,56	2,56	2,56
Peso específico aparente (BULK) (a/(t+a-b))	grs/cm <sup>3</sup>	2,70	2,69	2,70
% de absorción	%	3,20	3,10	3,20

Fuente: Elaboración propia

**3.2.2.3. Peso específico y absorción agregado grueso (AASHTO T-85)**

Este ensayo sirve para determinar los pesos específicos aparente y nominal, así como la absorción, después de 24 horas de sumergidos en agua, del agregado con tamaño igual o mayor a 4.75 mm (tamiz No.4).

Procedimiento del ensayo:

Figura N° 3-9 Muestra saturada y peso sumergido de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Resultados de la práctica:

Grava mezcla-N°4

Tabla N° 3-8 Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso

Descripción	Unidad	1	2	3	Promedio
Peso muestra saturada de superf. Seca (e )	grs	2477,20	2073,00	2073,00	
Peso material seco (f)	grs	2435,40	2040,20	2040,20	
Peso muestra + cesto suspendido en agua	grs	2720,60	2474,,20	2474,20	
Peso del cesto suspendido en agua	grs	1205,20	1205,20	1205,20	
Peso muestra suspendida agua (g)	grs	1515,40	1269,00	1269,00	
Peso específico del agregado Seco (f/(e-g))	grs/cm <sup>3</sup>	2,53	2,54	2,54	<b>2,54</b>
P.E.A. saturado de superficie seca (e/(e-g))	grs/cm <sup>3</sup>	2,58	2,59	2,58	<b>2,58</b>
Peso específico aparente (f/(f-g))	grs/cm <sup>3</sup>	2,65	2,64	2,64	<b>2,65</b>
% de absorción (e-f/f)*100	%	1,72	1,61	1,61	<b>1,66</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. ENSAYOS SOBRE LA MEZCLA ASFÁLTICA

#### 3.3.1. Granulometría y mezcla de agregados

##### 3.3.1.1. Granulometría

El análisis granulométrico de un material tiene por objeto separar y clasificar los gránulos de que está formado según su tamaño, esta separación se hace mediante una colección de tamices de malla cuadrada.

##### Procedimiento del ensayo:

Granulometría agregado Grueso planta de asfaltos El molino.

**Figura N° 3-10 Cuarteador de muestras**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N°3-11 Serie de tamices utilizados**



Fuente: Elaboración propia

Este ensayo se realizó para los tres tipos de agregado ¾”, 3/8” y agregado fino que se tiene en la planta de asfálticos. El molino los resultados de las granulometrías individuales se dan en la tabla 3-9 ver en anexo 1 ensayo completo.

**Resultados de la práctica:**

**Tabla N° 3-9 Granulometrías individuales de los agregados**

<b>MATERIALES COMPONENTES PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETEAS</b>							
<b>Peso suelo seco (grs)</b>	<b>1555,46</b>		<b>1125,18</b>		<b>669,66</b>		
<b>Tamiz</b>	<b>Grava de 3/4</b>		<b>Grava de 3/8</b>		<b>Fino</b>		<b>Apertura tamiz (mm)</b>
<b>N°</b>	<b>Peso Ret.</b>	<b>% que pasa</b>	<b>Peso Ret.</b>	<b>% que pasa</b>	<b>Peso Ret.</b>	<b>% que pasa</b>	
<b>2”</b>	0	100	0	100	0	100	50,8
<b>1 1/2”</b>	0	100	0	100	0	100	38,1
<b>1”</b>	0	99,83	0	100	0	100	25,4
<b>¾”</b>	246,84	84,13	0	100	0	100	19,05
<b>½”</b>	892,72	42,61	2,16	99,81	0	100	12,7
<b>3/8”</b>	1190,26	23,48	15,36	98,63	0,36	99,95	9,53
<b>N°4</b>	1432,7	7,89	685,58	39,07	32,5	95,15	4,75
<b>N°10</b>	1477,28	5,03	1050,3	6,65	234,32	65,01	2
<b>N°40</b>	1493,54	3,98	1072,27	4,7	408,42	39,01	0,42
<b>N°80</b>	1499	3,63	1076,92	4,29	495,5	26,01	0,16
<b>N°200</b>	1515	2,6	1090,72	3,06	586,84	12,37	0,08

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1.2. Mezcla de agregado

Después de obtener la granulometría de cada uno de los materiales se procede a mezclarse y calcular el porcentaje que se precisa de cada uno para obtener una granulometría deseada.

En la presente investigación se realizará la mezcla de agregados con tres tipos de materiales  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ " y fino.

**Tabla N° 3-10 Franja granulométrica para mezclas asfálticas**

Tamiz ASTM	Tamiz (mm)	MD-1	
		ESP. INF	ESP. SUP
$\frac{3}{4}$ "	19.00	95	100
$\frac{1}{2}$ "	12.50	85	100
$\frac{3}{8}$ "	9.50	75	100
<b>Nro. 4</b>	4.75	50	85
<b>Nro. 10</b>	2.00	30	75
<b>Nro. 40</b>	0.43	15	40
<b>Nro. 80</b>	0.16	8	30
<b>Nro. 200</b>	0,08	5	10

Fuente: Elaboración propia

Esta faja se la eligió en consideración a la norma española y norma colombiana mostradas en la tabla 3-10, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por grava  $\frac{3}{4}$ ", grava  $\frac{3}{8}$ ", fino para la granulometría de la mezcla, estos resultados se pueden observar en la tabla 3-11.

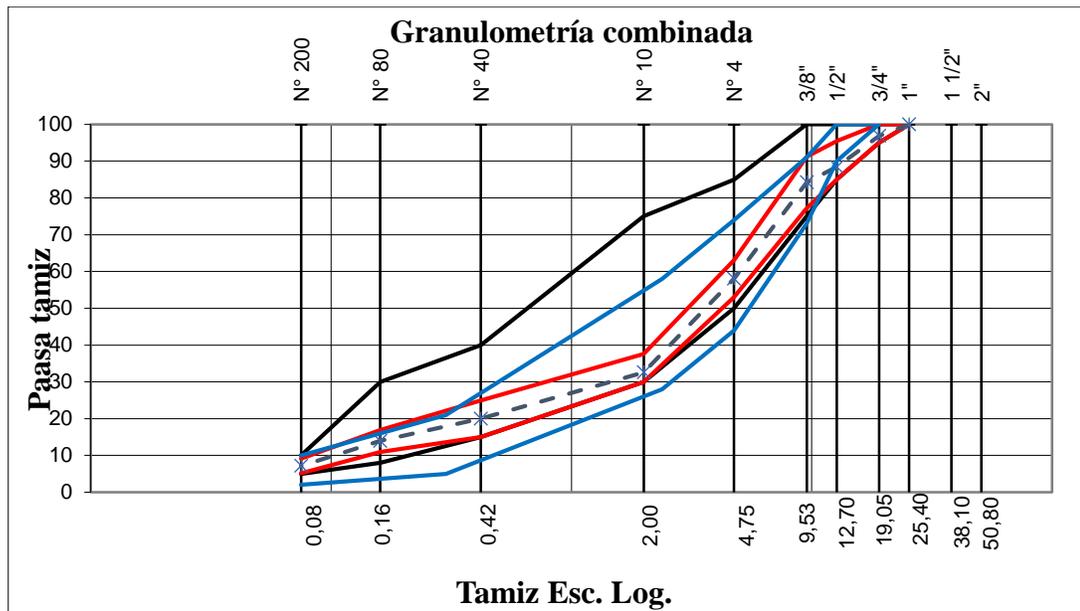
**Tabla N° 3-11 Granulometría del material combinado**

Malla		% Que pasa		
ASTM	mm	Combinada	MD-1	
			Mínimo	Máximo
3/4"	19.00	96,83%	95,00	100,00
1/2"	12.50	88,52%	85,00	100,00
3/8"	9.50	84,22%	75,00	100,00
Nro. 4	4.75	58,07%	50,00	85,00
Nro. 10	2.00	32,59%	30,00	75,00
Nro. 40	0.43	19,99%	15,00	40,00
Nro. 80	0,16	13,93%	8,00	30,00
Nro. 200	0,08	7,16%	5,00	10,00

Fuente: Elaboración propia

Las especificaciones de granulometría de la mezcla de los agregados, para esta investigación se presentan en el grafica N° 3-1.

**Grafica N° 3-1 Análisis granulométrico de la mezcla de agregados**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior los tamaños de los tamices se muestran en el eje de las abscisas en pulgadas, el porcentaje del material que pasa se muestra en el eje de las ordenadas. Las especificaciones para esta investigación son las dadas por la norma colombiana INVIAS, y están representadas por la región que está entre líneas solidas delgadas. La mezcla de diseño esa representada por la línea entrecortada.

### **3.4. CARACTERÍSTICAS DEL GEOTEXTIL NO TEJIDO GTX-300**

PAVCO, es un geotextil no tejido de PP, conformado por un sistema de fibras, punzonado por agujas. Este geotextil se produce en plantas de fabricación con altos estándares, bajo un sistema de gestión de calidad. Es altamente resistente a la degradación biológica y química que normalmente se encuentra en los suelos. Los valores de las propiedades que aparecen en esta especificación están en relación a los certificados de calidad de geotextiles del fabricante.

**Tabla 3-12 Especificaciones técnicas del geotextil no tejido GTX-300**

<b>Propiedades</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor MARV</b>
<b>Resistencia a la tensión grab.</b>	ASTM D 4632	N	950,00
<b>Elongación</b>	ASTM D 4632	%	>50,00
<b>Resistencia a la tensión-tira ancha</b>	ASTM D 4595	KN/m	15,00
<b>Elongación</b>	ASTM D 4595	%	>50,00
<b>Resistencia al punzonado</b>	ASTM D 4833	N	630,00
<b>Resistencia al punzonamiento CBR</b>	ASTM D 6241	KN	3,00
<b>Resistencia al desgaste trapezoidal</b>	ASTM D 4533	N	350,00
<b>Resistencia al reventamiento</b>	ASTM D 3786	K Pa	2750,00
<b>Tamaño de abertura aparente</b>	ASTM D 4751	mm	0,15

Fuente: Elaboración propia

<b>Propiedades</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor MARV</b>
<b>Tasa de flujo</b>	ASTM D 4491	L/min/m <sup>2</sup>	4200,00
<b>Permitividad</b>	ASTM D 4491	s-1	1,40
<b>Permeabilidad</b>	ASTM D 4491	cm/s	0,50
<b>Espesor</b>	ASTM D 5199	mm	3,60
<b>Masa por unidad de área (típico)</b>	ASTM D 5261	g/m <sup>2</sup>	230,00
<b>Resistencia a rayos UV % ret a 50 hr</b>	ASTM D 4355	%	>70,00
<b>Rollo ancho</b>		m	4,00
<b>Rollo largo</b>		m	100,00
<b>Rollo área</b>		m <sup>2</sup>	400,00

Fuente: Elaboración propia

### **3.5. DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE**

En lo que respecta al diseño de mezcla asfáltica, la normativa ABC, en su apartado sobre mezclas asfálticas caliente, establece que este se realizara a partir de probetas cilíndricas del tipo Marshall elaboradas de acuerdo a los procedimientos establecidos en la misma, similar a la norma AASHTO.

#### **3.5.1. Preparación y fabricación de briquetas**

Las mezclas asfálticas caliente se diseñan a partir de briquetas cilíndricas tipo Marshall, confeccionadas como se describe en la norma colombiana de ensayo INV E -760 “Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo Cántabro de perdida por desgaste”. En general, el número mínimo de briquetas para fabricar es de tres por cada mezcla. En este caso se realizarán seis diseños Marshall cada diseño con cinco contenidos de asfalto y cinco briquetas por cada contenido de asfalto.

### 3.5.1.1. Preparación de las muestras

El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2 ½") de altura, preparado como se describe en la norma.

**Figura N° 3-12 Briquetas de estudio**



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.1.2. Cálculo de materiales diseño Marshall

Se realizó la dosificación de agregados para cada briqueta que cumpla con la franja granulométrica de especificaciones, el cálculo de materiales se presenta en la siguiente tabla N° 3-13:

Tabla N° 3-13 Cálculo de materiales diseño Marshall

CALCULO DE MATERIALES DISEÑO MARSHAL																																	
Tamiz				%C.A.	PST	PSA			%C.A.	PST	PSA			%C.A.	PST	PSA			%C.A.	PST	PSA			%C.A.	PST	PSA							
Pasa	Retiene			4,5	1200,0	1146,0			5,0	1200,0	1140,0			5,50	1200,0	1134,0			6,00	1200,0	1128,0			6,50	1200,0	1122,0			7,00	1200,0	1116,0		
				PA (1)	PP (1)	PA(2)	PA(2)	PA(1)	PA (1)	PP (2)	PA(2)	PA(1)	PA (1)	PP (2)	PA(2)	PA(1)	PA (1)	PP (2)	PA(2)	PA(1)	PA (1)	PP (2)	PA(2)	PA(1)	PA (1)	PP (2)	PA(2)	PA(1)	PA (1)	PP (2)		PA(2)	
2"	1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1 1/2"	1"	100,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
1"	3/4"	100,00	3,20	36,7	36,7	36,7	36,7	36,5	36,5	36,5	36,5	36,3	36,3	36,3	36,3	36,1	36,1	36,1	36,1	35,9	35,9	35,9	35,9	35,7	35,7	35,7						35,7	
3/4"	1/2"	96,80	8,40	96,3	132,9	96,3	132,9	95,8	132,2	95,8	132,2	95,3	131,5	95,3	131,5	94,8	130,8	94,8	130,8	94,2	130,2	94,2	130,2	93,7	129,5	93,7						129,5	
1/2"	3/8"	88,40	4,20	48,1	181,1	48,1	181,1	47,9	180,1	47,9	180,1	47,6	179,2	47,6	179,2	47,4	178,2	47,4	178,2	47,1	177,3	47,1	177,3	46,9	176,3	46,9						176,3	
3/8"	N°4	84,20	26,10	299,1	480,2	299,1	480,2	297,5	477,7	297,5	477,7	296,0	475,1	296,0	475,1	294,4	472,6	294,4	472,6	292,8	470,1	292,8	470,1	291,3	467,6	291,3						467,6	
N°4	N°10	58,10	25,50	292,2	772,4	292,2	772,4	290,7	768,4	290,7	768,4	289,2	764,3	289,2	764,3	287,6	760,3	287,6	760,3	286,1	756,2	286,1	756,2	284,6	752,2	284,6						752,2	
N°10	N°40	32,60	12,60	144,4	916,8	144,4	916,8	143,6	912,0	143,6	912,0	142,9	907,2	142,9	907,2	142,1	902,4	142,1	902,4	141,4	897,6	141,4	897,6	140,6	892,8	140,6						892,8	
N°40	N°80	20,00	6,10	69,9	986,7	229,2	1146,0	69,5	981,5	228,0	1140,0	69,2	976,4	226,8	1134,0	68,8	971,2	225,6	1128,0	68,4	966,0	224,4	1122,0	68,1	960,9	223,2						1116,0	
N°80	N°200	13,90	6,70	76,8	1063,5			76,4	1057,9			76,0	1052,4			75,6	1046,8			75,2	1041,2			74,8	1035,6								
N°200	Fondo	7,20	7,20	82,5	1146,0			82,1	1140,0			81,6	1134,0			81,2	1128,0			80,8	1122,0			80,4	1116,0								
0,0			0,00	0,0				0,0				0,0			0,0				0,0				0,0										
Suma Total				1146,0		1146		1140,0		1140		1134,0		1134		1128,0		1128		1122,0		1122		1116,0		1116							
mento Asfáltico				54,0				60,0				66,0			72,0			78,0					84,0										
				10				10				10			10			10					10										

Nomenclatura

% C.A. = Porcentaje de Cemento Asfáltico Mezcla    PST = Peso Total de la mezcla    PSA = Peso seco total de los agregados    PA (1) = Peso Agregados retenidos parciales

PP (1) = Peso Agregados retenidos Acumulados    PA (2) = Peso Agregados retenidos parciales. En el tamiz pasa N° 40 se acumula hasta el retenido en el fondo

PP (2) = Peso Agregados retenidos Acumulados. En el tamiz pasa N° 40 se acumula hasta el retenido en el fondo

Fuente: Elaboración propia

**Donde:**

**%CA**= Porcentaje de cemento asfáltico.

**PST**= Peso total de la mezcla.

**PSA**= Peso total agregado.

**PA1**= **Peso** agregado retenidos parciales.

**PA2**= **Peso** agregado retenidos parciales. En el tamiz pasa N° 40 se acumula hasta el retenido en el fondo.

**PP1**= **Peso** agregado retenidos acumulados.

Ver en anexo 1 cálculos de materiales se precede a pesar en platos separados para cada briqueta de ensayo, la cantidad necesaria de cada fracción de agregado para producir una muestra que de cómo resultado una briqueta compactada, normalmente se requieren 1200 g.

**Figura N° 3-13 Pesado del agregado para la mezcla**



Fuente: Elaboración propia

Colocar a continuación el recipiente al horno para calentar la dosificación de agregados a una temperatura de 150°C.

Colocar la cantidad de asfalto necesaria para la fabricación de las probetas en un recipiente y se llevó a una temperatura de 160°C, esto de acuerdo las propiedades del asfalto utilizado (BETUPEN PLUS 85-100) cuya temperatura de mezclado y compactación a utilizar es de 130°C y 147°C respectivamente.

**Figura N° 3-14 Colocado del agregado a una temperatura de 150°C**



Fuente: Elaboración propia

Se vertieron los agregados en el recipiente para el mezclado y se efectuó una mezcla de los mismo añadiendo la cantidad necesaria de cemento asfáltico para la mezcla. En este instante la temperatura del árido y del asfalto deben estar dentro de los límites establecidos, el asfalto no debe mantenerse a la temperatura de mezclado por más de una hora antes de usarlo.

se ha mezclado el árido con el asfalto tan rápido como sea posible hasta que la mezcla quede totalmente cubierta y uniforme.

**Figura N° 3-15 Mezclado del asfalto con los agregados.**



Fuente: Elaboración propia

### **3.5.1.3. Compactación de las briquetas**

Se preparó el molde y el martillo, limpiando completamente el conjunto de molde y cara del martillo de compactación, el molde debe de estar previamente calentado antes de colocar la mezcla en el fondo del molde debe encontrarse un papel parafinado que evitara que la mezcla se pegue al martillo compactador, luego se coloca el conjunto collar, molde y base en el pedestal del compactador.

**Figura N° 3-16 Preparación del molde y colocado de la mezcla**



Fuente: Elaboración propia

Para la compactación es utilizado un martillo Marshall formado por una masa de compactación de  $3.36 = 20$  g de masa y un pisón de  $4.55 = 20$  g montado de forma que se pueda conseguir una caída libre del mismo sobre la base desde una altura de  $460 = 3$ mm. Según la norma NLT 159.

Se llenó el molde con una espátula, acomodando la mezcla en el perímetro y el centro, la temperatura antes de compactar debe estar en los límites establecidos.

Con el martillo de compactación se aplicaron 75 golpes en un tiempo no superior a 90 segundos. Se saca la base y el collar se invierte y se re-ensambla el molde, se aplicó en la otra cara el mismo número de golpes en un tiempo no mayor al indicado.

**Figura N° 3-17 Compactación de la mezcla**



Fuente: Elaboración propia

Inmediatamente después de compactada la briqueta, debe ser removida el papel parafinado.

**Figura N°3-18 Extracción de briquetas del molde**



Fuente: Elaboración propia

Una vez que se extrajo las briquetas del molde se procedió a numerarlas cada una de ellas.

**Figura N° 3-19 Briquetas de estudio**



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2. Peso y volumen de las briquetas

Después de ser desmoldadas las briquetas se procede a tomar el peso de cada una de las briquetas a través de una balanza de 0.1 g de precisión y cuatro medidas de diámetro y cuatro medidas de altura de las briquetas tomadas por medio de un vernier.

**Figura N° 3-20 Pesado de briquetas en aire y sumergido**



Fuente: Elaboración propia

Las medidas son necesarias para que con el promedio sea obtenido el volumen de la briqueta. Se muestra en la tabla 3-14 los volúmenes y peso de las briquetas ensayadas.

### 3.5.3. Densidad Bulk

Se determinó la densidad Bulk, de la mezcla asfáltica compactada, a partir de su masa seca (en gr) y de su volumen (en cm<sup>3</sup>) y se promediaron los resultados.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Pa}}{\text{Pa} - \text{pag}}$$

#### Donde:

Pa= Peso de la briqueta en el aire en gramos.

Tal como establece el procedimiento, se midió la altura de la briqueta con especial cuidado y precisión; así mismo, se midió su diámetro en cuatro sitios diferentes y se calculó su promedio.

Se calculó el volumen de la muestra de forma “geométrica” con base en la altura promedio y en la medida del diámetro, mediante la siguiente expresión para el cálculo de volumen de un cilindro.

$$\text{Vcilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

Ya con el volumen fue posible estimar la densidad de la probeta para finalmente convertir la densidad Bulk en gravedad específica Bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm<sup>3</sup> o 9997.07 kg/m<sup>3</sup>, densidad del agua a 25°C (77°F).

A continuación, se presentan las mediciones realizadas a cada una de las 30 probetas y su gravedad Bulk, para cada contenido de asfalto y para efectos de demostración se desarrolla el cálculo de una briqueta.

### **EJEMPLO**

#### **Briqueta 1**

**Contenido de asfalto 4,5 %**

**M = 1190,6 g**

**D promedio = 10.21 cm**

**H promedio = 6,27 cm**

**Cálculo el volumen se tiene:**

$$V_{cilindro} = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$V_{cilindro} = \frac{\pi \times (10.21)^2 (6.27)}{4}$$

$$V_{cilindro} = 513,34 \text{ cm}^3$$

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\text{Densidad} = \frac{1190,6}{513,34}$$

Para la densidad:

$$\text{Densidad} = 2.319 \text{ gr/cm}^3$$

Dividiendo por 0,99707 g/cm<sup>3</sup> (densidad del agua a 25°C) para obtener gravedad específica Bulk (Geb).

$$\text{Geb} = \frac{2.319\text{g/cm}^3}{0.99707\text{g/cm}^3}$$

$$\text{Geb} = 2.326$$

Y así sucesivamente se efectúa el cálculo de gravedad específica para las demás briquetas y se promedian los valores.

El cálculo debe de realizarse para cada contenido de asfalto. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada una de las briquetas analizadas y para cada uno de los contenidos de asfalto.

Tabla N° 3-14 Gravedad específica de Bulk

% De asfalto	Promedio		Volumen	Peso(gr)	Densidad	Gravedad específica de Bulk(gr/cm3)
	Altura (cm)	Diámetro(cm)	(cm3)		(gr/cm3)	
4,50	6,27	10,21	513,34	1190,60	2,32	2,33
4,50	6,30	10,23	517,82	1190,40	2,30	2,31
4,50	6,29	10,23	517,00	1193,90	2,31	2,32
4,50	6,33	10,20	517,24	1193,90	2,31	2,32
4,50	6,29	10,22	515,99	1194,30	2,31	2,32
5,00	6,27	10,22	514,35	1193,10	2,32	2,33
5,00	6,25	10,20	510,71	1193,50	2,34	2,34
5,00	6,23	10,20	509,07	1193,90	2,34	2,35
5,00	6,27	10,20	512,34	1192,80	2,33	2,34
5,00	6,28	10,20	513,16	1192,80	2,32	2,33
5,50	6,35	10,21	520,91	1194,10	2,29	2,30
5,50	6,30	10,20	514,79	1194,10	2,32	2,33
5,50	6,20	10,20	506,62	1193,00	2,36	2,36
5,50	6,28	10,19	512,15	1194,10	2,33	2,34
5,50	6,24	10,21	510,89	1193,20	2,34	2,34
6,00	6,27	10,20	512,34	1193,60	2,33	2,34
6,00	6,31	10,20	515,61	1193,40	2,31	2,32
6,00	6,26	10,20	511,52	1194,00	2,33	2,34
6,00	6,31	10,20	515,61	1193,00	2,31	2,32
6,00	6,24	10,19	508,89	1193,40	2,34	2,35
6,50	6,31	10,20	515,61	1193,80	2,31	2,32
6,50	6,28	10,20	513,16	1194,20	2,33	2,33
6,50	6,30	10,19	513,78	1193,80	2,32	2,33
6,50	6,28	10,20	513,16	1193,60	2,33	2,33
6,50	6,31	10,21	516,62	1194,20	2,31	2,32
7,00	6,26	10,21	512,52	1193,10	2,33	2,34
7,00	6,35	10,10	516,84	1193,50	2,31	2,32
7,00	6,30	10,19	513,78	1194,20	2,32	2,33
7,00	6,34	10,20	518,06	1194,40	2,31	2,31
7,00	6,45	10,20	527,05	1198,10	2,27	2,28

Fuente: Elaboración propia

NOTA: La nomenclatura utilizada para distinguir las briquetas, es un número acompañado con una letra. El número indica el número de briketa y la letra el porcentaje de ligante usado para la mezcla (A=4,5%; B=5,0%; C=5,5%; D=6,0%; E=6.5%; F=7,0%), se refiere a la briketa \*1 con el 4,5% de ligante.

#### 3.5.4. Gravedad específica máxima teórica

Se determinó la gravedad específica máxima teórica en base a la norma ASTM D 2041, sobre una mezcla asfáltica comparable, para evitar la influencia de diferencias en la granulometría, contenido de asfalto, etc.

Se presentan los resultados obtenido para cada contenido de asfalto

**Tabla N° 3-15 Densidad máxima teórica**

<b>Densidad máxima teórica</b>	
<b>Contenido de asfalto</b>	<b>Densidad gr/cm<sup>3</sup></b>
4,50	2,48
5,00	2,46
5,50	2,44
6,00	2,43
6,50	2,41
7,00	2,39

Fuente: Elaboración propia

#### 3.5.5. Cálculo de vacíos

Con los resultados anteriores en los que se calculó la gravedad específica Bulk y la gravedad específica máxima teórica se determina el contenido de vacíos para cada contenido de asfalto con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{G_{em} - G_{eb}}{G_{em}} * 100$$

**Donde:**

$G_{em}$  = Gravedad específica máxima teórica.

$G_{eb}$  = Gravedad específica Bulk (Valor promedio).

**Ejemplo:**

Para el contenido de asfalto de 4.5% se tienen los siguientes resultados:

$G_{em} = 2,48$

$G_{eb} = 2,34$ (valor promedio)

Sustituyendo en la ecuación de vacíos se tiene:

$$\% \text{ Vacíos} = \frac{2.48 - 2.34}{2.48} * 100$$

$$\% \text{ Vacíos} = 5,68\%$$

El cálculo se repite para los otros contenidos de asfalto; la siguiente tabla contiene los resultados obtenidos:

**Tabla N° 3-16 Porcentaje de vacíos en la mezcla**

<b>Porcentaje de vacíos</b>			
<b>Contenido de asfalto</b>	<b>Gravedad específica de Bulk (gr/cm3)</b>	<b>Densidad máxima teórica(gr/cm3)</b>	<b>Porcentaje de vacios %</b>
<b>4,50%</b>	2,34	2,48	5,68
<b>5,00%</b>	2,36	2,46	4,07
<b>5,50%</b>	2,37	2,44	3,22
<b>6,00%</b>	2,35	2,43	3,00
<b>6,50%</b>	2,36	2,41	1,92
<b>7,00%</b>	2,34	2,39	2,02

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.6. Pruebas de estabilidad y fluencia

Después de obtenido el peso específico Bulk de la mezcla compactada, se procede a la ejecución de los ensayos de estabilidad y fluencia, de la siguiente manera:

- a. Calibrar el cero del flujómetro, previamente montado sobre uno de los guidores, y luego de insertar la mordaza de 4 debajo del pivote.
- b. Sumergir las briquetas en baño de agua a 60°C (140°F), durante 30 a 40 minutos.
- c. Limpiar las guías y la superficie interior del anillo de prueba y lubricar las guías para garantizar que el segmento superior del anillo se deslice libremente sobre ellas. La temperatura de la mordaza debe mantenerse a una temperatura de 21 a 37,8°C (70 a 100°F), utilizando el baño de agua, si fuese necesario.
- d. Se saca la muestra del baño de agua, se coloca en la parte inferior de la mordaza, luego se inserta la parte superior de la misma. Se centra el conjunto en el dispositivo de carga y se coloca el medidor de flujo sobre el guía superior de la mordaza.
- e. Aplicar la carga de ensayo a la muestra a una velocidad de deformación constante de 51 mm/min (2 pulg/min), hasta que ocurra la falla. El punto de falla se define como la carga máxima obtenida en el ensayo. El número total de Newtons (libras) necesario para producir la falla de la muestra se define como el valor de la estabilidad Marshall. La deformación vertical del espécimen producida por la carga, es el valor del Flujo (fluencia).
- f. Durante el ensayo de estabilidad, sujétese firmemente el medidor de flujo en su posición sobre el guía superior, y retírese en el instante mismo que la carga empieza a decrecer, se anota el valor de flujo en unidades de 0,25 mm (0.01). Por ejemplo, si la muestra se deforma 3,8 mm (0,15”), su fluencia será 15.
- g. Se promedian los valores de estabilidad y flujo para todas las muestras con cada contenido de ligante.

Las pruebas de estabilidad y fluencia, a partir de la extracción de los núcleos del baño, no deben durar un tiempo mayor a 30 segundos.

### 3.6. EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES

#### 3.6.1. Preparación y fabricación de briquetas con el porcentaje óptimo del asfalto 5,8%

En la mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente el desempeño de la misma como pavimento terminado.

##### 3.6.1.1. Preparación de las muestras

El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101.6mm (4”) de diámetro y 63.5 mm (2 ½”) de altura, preparado como se describe en la norma. Preparación de las muestras con el porcentaje óptimo.

**Figura N° 3-21 Briquetas de estudio**



Fuente: Elaboración propia

- **Determinación del área de las briquetas:**

$$A \text{ cilindro} = \frac{\pi D^2}{4}$$

**Tabla N° 3-17 Área de las briquetas**

<b>Briqueta N°</b>	<b>Diámetro Promedio cm</b>	<b>Área cm<sup>2</sup></b>
1	10,22	82,03
2	10,20	81,71
3	10,20	81,71
4	10,20	81,71
5	10,18	81,39
6	10,20	81,71
7	10,21	81,87
8	10,19	81,55
9	10,20	81,71
10	10,20	81,71
11	10,18	81,39
12	10,20	81,71
13	10,20	81,71
14	10,18	81,39
15	10,20	81,71
16	10,18	81,39
17	10,20	81,71
18	10,20	81,71
19	10,20	81,71
20	10,18	81,39
21	10,22	82,03
22	10,20	81,71
23	10,19	81,55
24	10,20	81,71
25	10,19	81,55
26	10,20	81,71
27	10,19	81,55
28	10,20	81,71
29	10,21	81,87
30	10,18	81,39

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.1.2. Fisuración de las briquetas

Una vez realizadas las briquetas con el porcentaje optimo, se prosiguió a someterlas a las briquetas a fisuración, mediante el extractor de la muestra.

**Figura N° 3-22 Fisuración de las briquetas**



Fuente: Elaboración propia

**Figura: 3-23 Muestras fisuradas**



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.3. Área de fisuración

$$A=L*a$$

**Donde:**

L= longitud de fisuración (cm)

A= Ancho de fisuración (cm)

Tabla N° 3-18 Área de fisuración

<b>Briqueta N°</b>	<b>Longitud Total cm</b>	<b>Ancho Total cm</b>	<b>Área Total cm2</b>
<b>1</b>	16,64	0,50	8,32
<b>2</b>	15,54	0,43	6,68
<b>3</b>	16,54	0,35	5,79
<b>4</b>	13,82	0,40	5,53
<b>5</b>	14,65	0,31	4,54
<b>6</b>	14,54	0,45	6,54
<b>7</b>	14,25	0,33	4,70
<b>8</b>	13,43	0,30	4,03
<b>9</b>	13,50	0,25	3,38
<b>10</b>	13,75	0,30	4,12
<b>11</b>	15,75	0,36	5,67
<b>12</b>	16,05	0,20	3,21
<b>13</b>	11,50	0,20	2,30
<b>14</b>	15,10	0,25	3,78
<b>15</b>	14,00	0,28	3,92
<b>16</b>	15,05	0,25	3,76
<b>17</b>	13,08	0,22	2,88
<b>18</b>	17,07	0,30	5,12
<b>19</b>	13,53	0,20	2,71
<b>20</b>	17,22	0,18	3,10
<b>21</b>	13,22	0,26	3,44
<b>22</b>	12,80	0,15	1,92
<b>23</b>	14,21	0,17	2,42
<b>24</b>	15,33	0,20	3,07
<b>25</b>	14,25	0,29	4,13
<b>26</b>	16,50	0,26	4,29
<b>27</b>	17,88	0,25	4,47
<b>28</b>	19,33	0,32	6,18
<b>29</b>	13,43	0,28	3,76
<b>30</b>	18,23	0,23	4,19

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.1.4. Porcentaje de fisuración

$$\% \text{ de fisuración} = \frac{\text{Área de Fisuración}}{\text{Área del Cilindro}} * 100$$

**Tabla N° 3-19 Porcentaje de fisuración**

<b>Briqueta N°</b>	<b>Área de fisuración cm2</b>	<b>Área del cilindro cm2</b>	<b>% de fisuración %</b>
1	8,32	82,03	10,14
2	7,07	81,71	8,65
3	5,38	81,71	6,58
4	5,52	81,71	6,76
5	4,77	81,39	5,86
6	7,49	81,71	9,17
7	4,64	81,87	5,67
8	3,89	81,55	4,77
9	3,10	81,71	3,79
10	4,11	81,71	5,03
11	4,50	81,39	5,53
12	3,17	81,71	3,88
13	2,30	81,71	2,81
14	3,76	81,39	4,62
15	4,15	81,71	5,08
16	3,54	81,39	4,33
17	3,86	81,71	4,72
18	5,55	81,71	6,79
19	2,38	81,71	2,91
20	2,95	81,39	3,62
21	3,60	82,03	4,39
22	2,91	81,71	3,56
23	2,53	81,55	3,10
24	3,52	81,71	4,31
25	4,20	81,55	5,15
26	4,10	81,71	5,02
27	4,03	81,55	4,94
28	6,30	81,71	7,71
29	3,60	81,87	4,40
30	4,13	81,39	5,07

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2. Evaluación de mezclas asfálticas con la aplicación del geotextil

#### 3.6.2.1. Preparación de las muestras

**Figura N° 3-24 Pesado del agregado para la mezcla a los 1/3**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3-25 Preparación del papel filtro**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3-26 Preparación del geotextil moldeado**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3-27 Colocado de la briqueta fisurada al molde**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3-28 Colocado de ligante asfáltico sobre la briqueta fisurada**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3-29 Colocado del geotextil sobre la briqueta fisurada con asfalto**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3-30 Colocado de mezcla asfáltica sobre la briqueta con geotextil y asfalto a los 1/3 restante**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3-31 Compactación de la mezcla sobre la briqueta fisurada con geotextil y ligante asfáltico**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3-32 Extracción de briquetas del molde**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 3-33 Briquetas de estudio con geotextil y sin geotextil**



Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3. Comparación de resistencia de las mezclas asfálticas con geotextil y sin geotextil

#### 3.6.3.1. Comparación de resistencia de las briquetas según el método Marshall

Tabla N° 3-20 Duración de Resistencia de las briquetas según el método Marshall

Lecturas con geotextil		Lecturas sin geotextil	
Lectura de carga	Lectura de flujo	Lectura de carga	Lectura de flujo
38	380	35	370
40	395	30	310
38	305	32	325
37	390	25	320
37	325	35	330
40	295	26	310
37	370	29	290
40	310	28	280
32	330	25	275
30	320	26	320
37	320	25	270
30	340	22	280
30	325	25	275
28	280	24	290
30	300	27	300

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 3-21 Diseño de mezclas asfálticas en caliente método Marshall con geotextil**

Pesos Específicos (AASHTO T-100, T-85)				% de Agregados				Cemento Asfáltico AASHTO M 20				No.de Golpes/Capa								
Mat. Retenido Tamiz N° 4		2,646				42,8		Tipo de asfalto BETUPEN PLUS				85 - 100								
Mat. Pasa Tamiz N° 4		2,680				57,2		Peso Específico Total AASHTO T-228				1,010								
Peso Específico Total		2,665		0		100														
Peso Específico Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)								Peso Esp. Max. de Mezclas Compact. (AASHTO T-209)				Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall (AASHTO T-245)								
N° Probeta	Altura de Probeta	% Asfalto		Peso Probeta			Vol. Probeta	Densidad Probeta		% de Vacíos				LEC. DIAL	Estabilidad Marshall				Flujo	
		Base mezcla	Base Agregado	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en Agua		Densidad Real	Densidad Promedio	Densidad Máxima Teórica	% de Vacíos Mezcla Total	V.A.M. (Vacíos Agregados Mineral)	R.B.V. (Relación)		Carga	Factor corrección	Carga Real Corregida	Carga Promedio	En 1/100 pulgadas	promedio
		[%]	[%]	[grs.]	[grs.]	[grs.]	[cc]	[grs./cm³]	[grs./cm³]	[grs./cm³]	[%]	[%]	[%]		[Libras]		[Libras]	[Libras]		1/100 plg
1	6.49	5,8	6,2	1200,0	1202,5	690,5	512,0	2,344						38	2584,53616	0,965	2494,1		0,150	
2	6.48	5,8	6,2	1197,3	1200,0	686,0	514,0	2,329						40	272153792	0,968	2633,088		0,156	
3	6.49	5,8	6,2	1188,6	1191,0	678,4	512,6	2,319						38	2584,53616	0,965	2494,077		0,120	
4	6.44	5,8	6,2	1193,2	1194,9	684,5	510,4	2,338						37	2516,03527	0,978	2459,424		0,154	
5	6.40	5,8	6,2	1185,4	1190,0	681,2	508,8	2,330						37	2516,03527	0,988	2484,585		0,128	
6	6.41	5,8	6,2	1192,6	1195,8	684,3	511,5	2,332						40	272153792	0,985	2680,715		0,116	
7	6.55	5,8	6,2	1196,8	1201,7	684,0	517,7	2,312						37	2516,03527	0,953	2396,524		0,146	
8	6.53	5,8	6,2	1191,1	1196,9	679,0	517,9	2,300						40	272153792	0,956	2602,607		0,122	

Fuente: Elaboración propia

9	6,45	5,8	6,2	1919	193,0	681,3	511,7	2,329						32	273,53086	0,975	219,193		0,130	
10	6,45	5,8	6,2	1910	193,0	681,5	511,5	2,328						30	2036,5291	0,975	1985,616		0,126	
11	6,50	5,8	6,2	1910	198,3	680,2	518,1	2,299						37	2516,03527	0,963	2421684		0,126	
12	6,51	5,8	6,2	198,5	1203,5	687,1	516,4	2,321						30	2036,5291	0,960	1955,068		0,134	
13	6,48	5,8	6,2	197,3	1200,0	686,0	514,0	2,329						30	2036,5291	0,968	1970,342		0,128	
14	6,41	5,8	6,2	185,9	1201,5	691,8	509,7	2,327						28	1899,52734	0,985	1871,034		0,110	
15	6,36	5,8	6,2	187,5	1188,8	685,6	503,2	2,360	2,326	2,434	4,44	17,80	75,05	30	2036,5291	0,998	2031438	2307	0,118	13,09

<b>OBSERVACIÓN:</b>									
<b>Especificación</b>	Mínimo	3	15	75		1500		8	
	Máximo	5		82				18	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 3-22 Diseño de mezclas asfálticas en caliente método Marshall sin geotextil**

Pesos Específicos (AASHTO T-100, T-85) % de Agregados				Cemento Asfáltico AASHTO M 20				No.de Golpes/Capa												
Mat. Retenido Tamiz N°4	2,646		42,8	Tipo de asfalto BETUPEN PLUS		85 - 100		75												
Mat. Pasa Tamiz N°4	2,680		57,2	Peso Especifico Total AASHTO T-228		1,010														
Peso Especifico Total	2,665	0	100																	
Peso Especifico Bulk de Mezclas Bituminosas Compactadas (AASHTO T-166)							Peso Esp. Max. de Mezclas Compact. (AASHTO T-209)					Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall(AASHTO T-245)								
N° Probeta	Altura de Probeta	% Asfalto		Peso Probeta			Vol. Probeta	Densidad Probeta		% de Vacíos					LEC. DIAL	Estabilidad Marshall			Flujo	
		Base mezcla	Base Agregado	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en Agua		Densidad Real	Densidad Promedio	Densidad Máxima Teórica	% de Vacíos Mezcla Total	V.A.M. (Vacíos Agregados M Ineriales)	R.B.V. (Relación Betumen Vacíos)	Carga		Factor corrección	Carga Real Corregida	Carga Promedio	En 1/100 pulgadas	promedio
		[%]	[%]	[grs.]	[grs.]	[grs.]		[cc]	[grs./cm³]	[grs./cm³]	[grs./cm³]	[%]	[%]	[%]		[Libras]		[Libras]	[Libras]	
1	6,30	5,8	6,2	185,4	187,2	686,0	501,2	2,365						35	2379,03351	1,013	2410,0		0,146	
2	6,34	5,8	6,2	180,0	186,3	683,1	503,2	2,345						30	2036,5291	1,003	2042,639		0,122	
3	6,39	5,8	6,2	170,6	174,5	666,8	507,7	2,306						32	2173,53086	0,990	2151,796		0,128	
4	6,35	5,8	6,2	184,4	185,0	680,3	504,7	2,347						25	1694,02469	1,000	1694,025		0,126	
5	6,39	5,8	6,2	180,3	182,2	674,5	507,7	2,325						35	2379,03351	0,990	2355,243		0,130	
6	6,30	5,8	6,2	178,1	179,0	680,0	499,0	2,361						26	1762,52557	1,013	1785,438		0,122	
7	6,44	5,8	6,2	180,0	182,5	673,0	509,5	2,316						29	1968,02822	0,978	1923,748		0,114	
8	6,47	5,8	6,2	182,2	186,1	673,2	512,9	2,305						28	1899,52734	0,970	1842,542		0,110	

Fuente: Elaboración propia

9	6,36	5,8	6,2	117,12	1172,4	670,2	502,2	2,332						25	1694,02469	0,998	1689,79		0,108	
10	6,38	5,8	6,2	1185,9	1187,5	684,1	503,4	2,356						26	1762,52557	0,993	1749,307		0,126	
11	6,29	5,8	6,2	1176,4	1177,5	679,5	498,0	2,362						25	1694,02469	1,016	1721,129		0,106	
12	6,42	5,8	6,2	1175,1	1176,5	671,7	504,8	2,328						22	1488,52205	0,983	1462,473		0,110	
13	6,32	5,8	6,2	1182,0	1182,3	681,7	500,6	2,361						25	1694,02469	1,008	1707,577		0,108	
14	6,36	5,8	6,2	1185,1	1186,1	682,7	503,4	2,354						24	1625,52381	0,998	1621,146		0,114	
15	6,35	5,8	6,2	1180,0	1180,5	678,6	501,9	2,351	2,341	2,434	3,82	17,26	77,87	27	1831,02646	1,000	1831,026	1866	0,118	11,92

<b>OBSERVACIÓN:</b>									
<b>Especificación</b>	Mínimo	3	15	75		1500		8	
	Máximo	5		82				18	

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3.2. Comparación de resistencia de las briquetas según una metodología aplicada

**Tabla N° 3-23 Duración de resistencia de las briquetas con y sin geotextil, hasta presentarse las fisuras**

<b>N° de briquetas</b>	<b>Golpes a las briquetas sin geotextil</b>	<b>Golpes a las briquetas con geotextil</b>
1	3,50	7,00
2	4,00	6,00
3	5,00	7,50
4	4,00	5,50
5	4,00	6,00
6	6,00	6,50
7	5,00	5,50
8	5,00	6,50
9	4,00	6,00
10	4,00	6,50
11	4,50	7,00
12	6,00	7,50
13	3,00	5,50
14	5,00	6,50
15	4,00	7,00

Fuente: Elaboración propia

## 3.7. ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE SISTEMAS DE MEMBRANA ANTIFISURA (S.A.M.I.) EN LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES FISURADOS POR REFLEXIÓN

### 3.7.1. Resultados de los ensayos de evaluación de calidad y caracterización

Con la finalidad de evaluar los resultados obtenidos en los ensayos para determinar las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas calientes se realiza un análisis

comparativo de resultados el mismo que es importante para determinar las características de la mezcla caliente con respecto a la mezcla convencional.

Para el efecto de análisis se realizaron tablas y gráficos que muestran la diferencia de resultados.

**Primer análisis:**

**Tabla N° 3-24 Resultados obtenidos de los ensayos del ligante asfáltico  
comparación con especificaciones**

<b>Betupen plus 85-100</b>				
<b>Ensayos</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Resultado</b>	<b>Norma</b>
<b>Viscosidad a 135°C Saybolt-Furol, SSF.</b>	100,00	-----	125,00	ASTM E-102
<b>Penetración (25°C, 100gr, 5s)mm/10</b>	85,00	100,00	88,00	ASTEM D-5
<b>Ductilidad (25°C, 5 cm/min), cm</b>	100,00	-----	107,50	ASTM D-113
<b>Punto de inflamación, copa cleveland,°C</b>	232,00	-----	278,00	ASTM D-92
<b>Gravedad específica</b>			1,01	ASTM D-70

Fuente: Elaboración propia

De los ensayos realizados en la figura para el ligante asfáltico se tiene los siguientes resultados, los mismos que son comparados con su respectiva especificación exigida por la norma.

Observándose que todos y cada uno de los ensayos realizados cumplen con los requerimientos.

### Segundo análisis:

**Tabla N° 3-25 Determinación del contenido óptimo de asfalto**

Descripción	Unidad	Valor	Especificaciones	
			Min.	Max.
<b>Peso específico C.A.</b>	[grs./cm <sup>3</sup> ]	1,010		
<b>Densidad máxima teórica</b>	[grs./cm <sup>3</sup> ]	2,434		
<b>Densidad real</b>	[grs./cm <sup>3</sup> ]	2,364		
<b>% de vacíos mezcla total</b>	[%]	2,85	3	5
<b>V.A.M. (Vacíos agregados mineral)</b>	[%]	16,4	15	
<b>R.B.V. (Relación Betumen vacíos)</b>	[%]	82,6	75	82
<b>Estabilidad Marshall</b>	[Libras]	2876,9	1500	
<b>Flujo</b>	1/100 plg	13,1	8	18
<b>Asfalto 65 - 85</b>	[%]	5,8	5,5	6,1

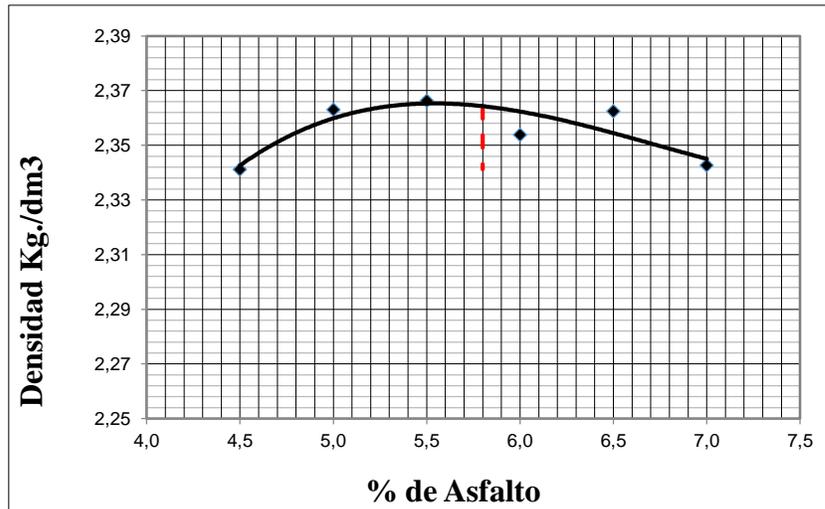
Fuente: Elaboración propia

El método de diseño para mezclas en caliente es sencillo, consiste en seleccionar el contenido de asfalto para el cual se cumple con las exigencias establecidas y ese será el contenido óptimo (ver tabla N° 3-25).

El ensayo de estabilidad Marshall evalúa la carga bajo la cual el espécimen falla. El ensayo se realizó a la mezcla con la granulometría de diseño seleccionada, con el contenido óptimo de asfalto obtenido por el método Marshall del 5,8%.

Los resultados obtenidos del ensayo Marshall para el porcentaje de asfalto 5,8% se muestran en el siguiente cuadro, los resultados obtenidos del ensayo Marshall para los diferentes contenidos de asfaltos y granulometrías se presenta en anexo 3.

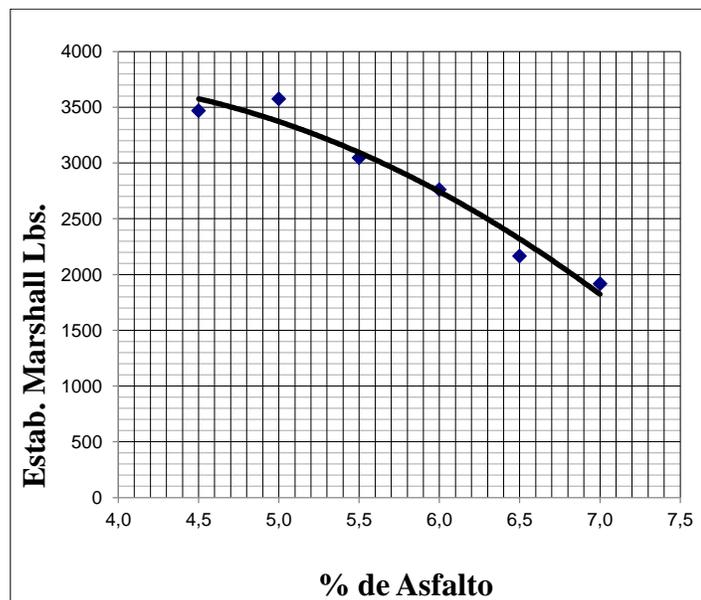
**Gráfica N° 3-2 Densidad vs. % de asfalto**



Fuente: Elaboración propia

En la curva de densidad de la mezcla se observa que esta aumenta hasta un cierto porcentaje de asfalto, luego tiende a disminuir (ver gráfica N° 3-2).

**Gráfica N° 3-3 Estab. Marshall vs. % de asfalto**

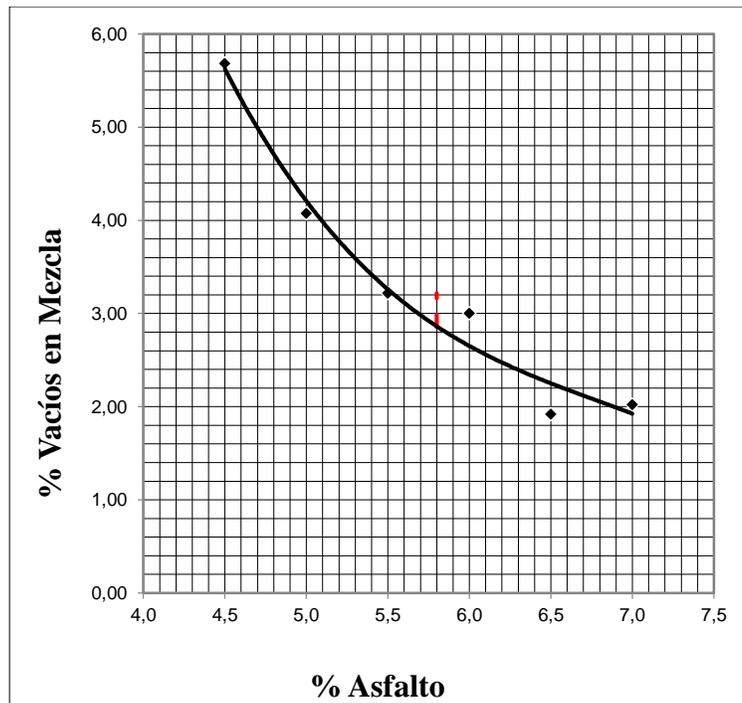


Fuente: Elaboración propia

Los valores de estabilidad Marshall aumentan hasta un determinado valor de contenido de asfalto y luego disminuyen cuando el porcentaje de asfalto es mayor (ver gráfica N° 3-3).

Mientras que, en la curva, el porcentaje óptimo de asfalto es aquel que da una estabilidad máxima (5,75% de asfalto).

**Gráfica N° 3-4 % de vacíos vs. % de asfalto**

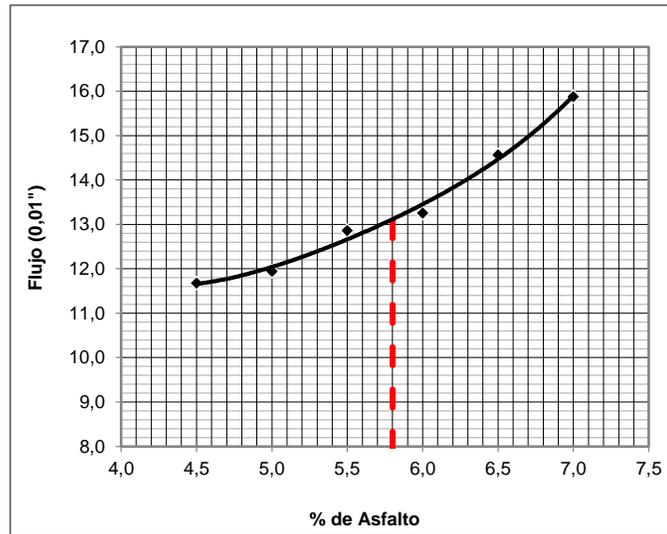


Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de vacíos de aire disminuye a medida que aumenta el porcentaje de asfalto (ver gráfica N° 3-4).

Para esta curva, el porcentaje óptimo será aquel que de un % de vacíos que este de 16% y 25% (5,8% de asfalto).

**Gráfica N° 3-5 Flujo vs. % de asfalto**



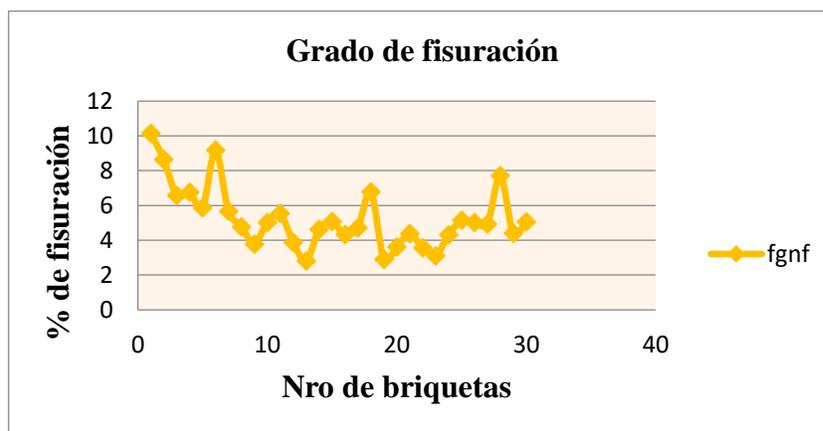
Fuente: Elaboración propia

Los valores de fluencia aumentan con incrementos de contenido de asfalto.

Mientras que en esta curva el porcentaje optimo esta entre la 13 y 14 de flujo por lo que se tomara 5,8% de porcentaje asfaltico.

**Análisis de los resultados de la evaluación de mezclas asfálticas convencionales con y sin la aplicación del geotextil.**

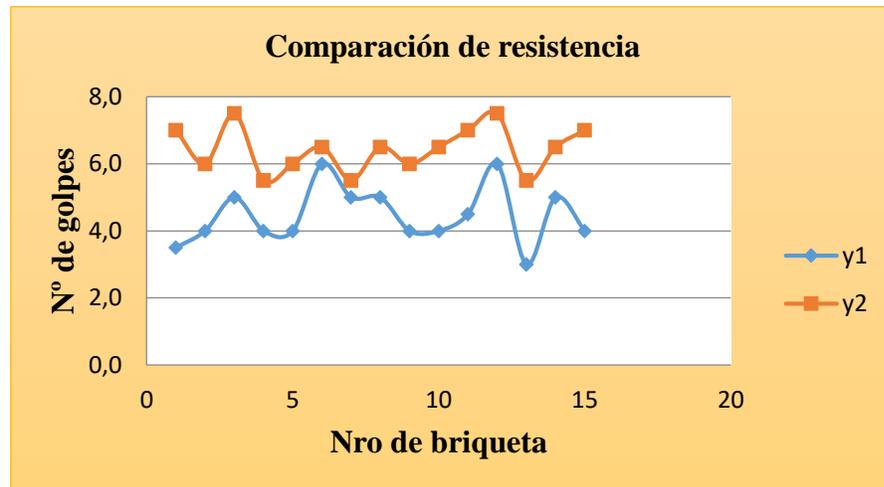
**Gráfica N° 3-6 Grado de fisuración de las briquetas convencionales**



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se muestran el grado de fisuración de cada muestra de estudio, se puede analizar que no en todas las muestras (briquetas) tienen el mismo porcentaje de fisuración, es decir que en unas se presentan mayor fisuramiento que en otras.

**Gráfica N° 3-7 Comparación de la rehabilitación de las briquetas fisuradas con y sin la aplicación del geotextil según la metodología utilizada**



Fuente: Elaboración propia

El análisis que se puede observar en la gráfica N° 3-7 y tabla N° 3-23, es de que la rehabilitación de las briquetas fisuradas con la aplicación de una mezcla asfáltica convencional tiende a fisurarse mucho más antes que con geotextil y mezcla asfáltica convencional.

Como era de esperarse el comportamiento de las briquetas con el sistema S.A.M.I. (GEOTEXTIL NO TEJIDO GTX-300-PP) es mucho mejor que cuando no se implementa algún sistema de rehabilitación, resiste mucho más la rehabilitación con geotextil a que la rehabilitación con mezclas convencionales.

En cuanto a las mezclas asfálticas utilizadas como sobre-mezclas asfálticas, la mezcla modificada con la aplicación del geotextil presenta una respuesta mucho más favorable que la mezcla convencional, ya que presentan menores resultados de daño por fatiga antes de alcanzar la fisura.

**Tabla N° 3-26 Comparación de la Rehabilitación de las briquetas Fisuradas con y sin la Aplicación del Geotextil por el Método Marshall**

**Marshall con Geotextil**

Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall(AASHTO T-245)						
LEC. DIAL	Estabilidad Marshall				Flujo	
	Carga	Factor corrección	Carga Real Correjada	Carga Promedio	En 1/100 pulgadas	promedio
	[Libras]		[Libras]	[Libras]		1/100 plg
38	2584,53616	0,965	2494,1		0,150	
40	272153792	0,968	2633,088		0,156	
38	2584,53616	0,965	2494,077		0,120	
37	2516,03527	0,978	2459,424		0,154	
37	2516,03527	0,988	2484,585		0,128	
40	272153792	0,985	2680,715		0,116	
37	2516,03527	0,953	2396,524		0,146	
40	272153792	0,956	2602,607		0,122	
32	2173,53086	0,975	2119,193		0,130	
30	2036,5291	0,975	1985,616		0,126	
37	2516,03527	0,963	2421,684		0,126	
30	2036,5291	0,960	1955,068		0,134	
30	2036,5291	0,968	1970,342		0,128	
28	1899,52734	0,985	1871,034		0,110	
30	2036,5291	0,998	2031,438	2307	0,118	13,09
				<b>1500</b>		<b>8</b>
						<b>18</b>

**Marshall sin Geotextil**

Estabilidad y Fluencia mezclas Asfálticas Utilizando Prensa Marshall(AASHTO T-245)						
LEC. DIAL	Estabilidad Marshall				Flujo	
	Carga	Factor corrección	Carga Real Correjada	Carga Promedio	En 1/100 pulgadas	promedio
	[Libras]		[Libras]	[Libras]		1/100 plg
35	2379,03351	1,013	2410,0		0,146	
30	2036,5291	1,003	2042,639		0,122	
32	2173,53086	0,990	2151,796		0,128	
25	1694,02469	1,000	1694,025		0,126	
35	2379,03351	0,990	2355,243		0,130	
26	1762,52557	1,013	1785,438		0,122	
29	1968,02822	0,978	1923,748		0,114	
28	1899,52734	0,970	1842,542		0,110	
25	1694,02469	0,998	1689,79		0,108	
26	1762,52557	0,993	1749,307		0,126	
25	1694,02469	1,016	1721,129		0,106	
22	1488,52205	0,983	1462,473		0,110	
25	1694,02469	1,008	1707,577		0,108	
24	1625,52381	0,998	1621,46		0,114	
27	1831,02646	1,000	1831,026	1866	0,118	11,92
				<b>1500</b>		<b>8</b>
						<b>18</b>

Fuente: Elaboración Propia

El análisis que se puede observar en la tabla N° 26, es de que las briquetas fisuradas, una vez rehabilitada con geotextil (S.A.M.I.) y con mezcla asfáltica, la resistencia obtenida es de, (2721,54 libras) es superior a las briquetas fisuradas sin la aplicación del geotextil que es de (2379,03 libras).

**NOTA:**

los ensayos los realicé con muestras elaboradas en laboratorio para el estudio de investigación sobre el “ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE SISTEMAS DE MEMBRANA ANTIFISURA (S.A.M.I.) EN LA REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES FISURADOS POR REFLEXIÓN”, los realicé en laboratorios debido a que SEDECA no me dio los permisos requeridos para extraer muestras de campo para realizar los ensayos en laboratorio.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que el contenido óptimo de asfalto para las mezclas de estudio es de 5,8%.
- Se determinó el porcentaje de fisuración en las 30 distintas briquetas que es de 2,81% a 10,14%, es decir presentaron diferentes grados de fisuración.
- En cuanto a las lecturas que se dio en el ensayo del Marshall, la lectura de carga con la aplicación del geotextil el más elevado es de 40 LEC. DIAL (2721,54 libras), el mínimo es de 28 LEC. DIAL (1899,53libras), a diferencia de la lectura de carga sin la aplicación del geotextil que es el más elevado de 35 LEC. DIAL (2379,03libras) y el mínimo es de 22 LEC. DIAL (1488,52libras).

- Las 15 briquetas con producto geotextil incorporado han mostrado mejor comportamiento a la adherencia, dado que los valores de carga han sido superiores en todos los casos, del mismo modo que se presentó una resistencia residual luego de finalizado el ensayo.

En todas las briquetas, una vez finalizado el ensayo, el GEOTEXTIL NO TEJIDO GTX-300, ha quedado adherido a la mezcla asfáltica, dado que las características del geotextil propician su adherencia.

- Las 15 briquetas incorporado con mezcla asfáltica convencional, han mostrado menor comportamiento a la adherencia, dado que los valores de carga han sido inferiores a las mezclas asfálticas con geotextil, del mismo modo que presenta menor resistencia.
- La resistencia a la fatiga por reflexión obtenida para los sistemas (S.A.M.I.), con la mezcla asfáltica, con la aplicación del GEOTEXTIL NO TEJIDO GTX-300, tuvieron mejores resultados que aquellos implementados con la mezcla convencional.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Obtener los materiales ya sean geotextiles/asfaltos para la realización del ensayo de rehabilitación conllevó mucho tiempo, por lo cual se recomienda para futuras investigaciones, plantear convenios entre la "Universidad Autónoma Juan Misael Saracho" y entidades públicas o empresas particulares (SEDECA, Alcaldía Municipal, Empresa Constructoras Privadas), para facilitar el material de manera directa y sin interés alguno. Siendo esto de gran ayuda para el universitario y para los fines investigativos de la casa superior de estudios.
- Incluir dentro del programa de Laboratorio de Asfaltos de la "Universidad Autónoma Juan Misael Saracho", el tema de los sistemas de membranas antifisuras S.A.M.I. (Geotextiles) para que el estudiante de la carrera de Ingeniería Civil pueda conocer los tipos que hay físicamente y pueda estar más preparado al trabajar como un profesional, ya que, no solo existe la aplicación en recapamiento sino en otras áreas de la ingeniería civil, ya que, en la actualidad los beneficios técnico son excelentes y es una tecnología que ayuda al medio ambiente, lo asegura la empresa Geosistemas PAVCO.
- En lo posterior se recomienda el estudio del material GEOTEXTIL NO TEJIDO GTX-300 puesta en obra.
- Se recomienda tener mucho cuidado al utilizar los diferentes equipos para realizar los diferentes ensayos, ya que se necesita precisión de los mismos.