

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Los asfaltos diluidos son aquellos que proceden de la dilución del cemento asfáltico con un disolvente resultante de la destilación del petróleo. Surgieron como una solución al problema de las elevadas temperaturas necesarias para alcanzar el calentamiento de betún para lograr viscosidades que permitan un fácil manejo.

La viscosidad es el término usado para describir el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación.

Estudios que se realizaron en diferentes países sobre la viscosidad han demostrado la incidencia que tiene en el diseño y comportamiento del pavimento flexible, pudiendo identificar las viscosidades más favorables para el asfalto y así aplicarlo en distintas partes del país dependiendo de las características térmicas que haya en cada región donde se desee realizar la construcción de una carretera.

En la presente investigación se hará un análisis de la viscosidad en dos tipos de asfaltos diluidos como son el MC-70 y MC-800 que son asfaltos diluidos de curado medio los mismos serán utilizados en el diseño de un tratamiento superficial triple

Con la finalidad de analizar y determinar los efectos que genera la viscosidad en el diseño con los dos asfaltos diluidos

En tal sentido la presente investigación sobre la viscosidad en los asfaltos diluidos cooperara con la construcción en carreteras de menor costo tanto en nuestra ciudad como en nuestro país. Y de esta manera fortalecer y mejorar la calidad de vida de las personas principalmente dotándoles seguridad y confort en las carreteras y así garantizando un libre tránsito de movilidades y fácil acceso a las ciudades, facilitando el comercio de productos, y el flujo turístico que es una fuente de ingreso de dinero muy importante para las ciudades.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Situación problemática**

La viscosidad o consistencia es el término usado para determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación.

El efecto de la viscosidad de un asfalto diluido se disminuye o incrementa con la presencia de un solvente, el mal manejo de una serie de parámetros como el porcentaje de solvente y de la temperatura de aplicación del asfalto diluido, puede producir la evaporación parcial del solvente generando que el asfalto diluido sea difícil de trabajarlo

El análisis del efecto de la viscosidad en los asfaltos diluidos MC-800 y MC-70 es muy importante ya que nos ayudara a poder determinar de qué manera llegan a afectar las propiedades de elasticidad, plasticidad, consistencia, trabajabilidad de un asfalto diluido al alterar su viscosidad y que efectos trae consigo en el diseño de un tratamiento superficial,

El problema que actualmente existe en las vías construidas con tratamientos superficiales es caracterizado por el poco control y estudio que existen sobre los efectos causados de la viscosidad en los asfaltos diluidos ya que al no tener en cuenta la viscosidad de estos se puede generar una serie de problemas en la funcionalidad de un tratamiento superficial, si no se da solución a este concepto de interés puede traer consigo una mala utilización de los asfaltos diluidos en los diseños de un tratamientos superficial.

Debido a estas razones es importante profundizar el análisis de la influencia que tendrá la viscosidad en el y diseño de un tratamiento superficial.

### **1.2.2 Formulación del problema**

¿De qué manera se pueden establecer los efectos de la viscosidad en los asfaltos diluidos MC-800 y MC-70 aplicados en los tratamientos superficiales triple?

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Analizar el efecto que produce la variación de la viscosidad de los asfaltos diluidos MC-70 y MC-800 que se utiliza en los tratamientos superficiales triple a través de las pruebas de laboratorio.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Obtener bibliografía, documentos sobre la viscosidad en asfaltos diluidos y tratamientos superficiales.
- Muestrear el agregado y cemento asfáltico.
- Verificar especificaciones técnicas del cemento asfáltico y asfalto diluido.
- Verificar especificaciones técnicas del agregado
- Diseñar el tratamiento superficial triple.
- Diseñar el Marshall
- Analizar los resultados obtenidos del diseño
- Elaborar conclusiones y recomendaciones

## **1.4 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y SUS VARIABLES.**

### **1.4.1 Formulación de la Hipótesis**

- Los asfaltos diluidos al modificar su dosificación con el porcentaje de solvente alteraremos su viscosidad.

## **1.5 IDENTIFICACIÓN Y CONCEPTUALIZACIÓN DE VARIABLES.**

### **1.5.1 Variable independiente**

- Solvente (Kerosene)

### **1.5.2 Variable dependiente**

- Alteración de la viscosidad

### **1.5.3 Operacionalización de las variables**

**Tabla 2.1: Variable Independiente**

| <b>Variable independiente</b> | <b>Concepto</b>   | <b>Dimensión</b> | <b>Indicador</b> | <b>Valor/acción</b>             |
|-------------------------------|---|------------------|------------------|---------------------------------|
| <b>Solvente (kerosene)</b>    | Se refiere al incremento o disminución gradual de un solvente en un asfalto diluido | Solvente         | Porcentaje (%)   | Medición previa según normativa |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 2.2: Variable Dependiente**

| <b>Variable dependiente</b> | <b>Concepto</b>   | <b>Dimensión</b>               | <b>Indicador</b> | <b>Valor/acción</b>                      |
|-----------------------------|---|--------------------------------|------------------|--|
| <b>Viscosidad</b>           | La consistencia se mide como el grado de fluidez o resistencia a la deformación de un material asfáltico a una determinada temperatura, | Viscosidad<br>Saybolt<br>Furol | Segundos (seg)   | Se debe realizar el ensayo de viscosidad |

**Fuente:** Elaboración propia.

## **1.6 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El alcance del proyecto de grado es la de analizar los efectos que produce la viscosidad en los asfaltos diluidos MC-800 y MC-70 utilizados en los tratamientos superficiales triples.

Se realizará la caracterización de cada material según la norma boliviana de la ABC del manual de ensayos de agregado pétreo y asfaltos.

Donde se utilizará cemento asfáltico 85-100, solvente (kerosene) y material triturado agregado pétreo tipo B “3/4”, D “1/2” y E “3/8”

Los ensayos se realizarán en el laboratorio de asfaltos y laboratorio de hormigones

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio tanto de los agregados pétreos y asfalto diluido se deberá realizar el diseño de un tratamiento superficial triple con asfalto diluido MC-70 y MC-800 por el método Mc Leod el cual es el más recomendado debido a que maneja más parámetros en su diseño.

Los resultados que se obtengan en el diseño del tratamiento por este método serán de cantidades de agregado pétreo y asfalto diluido para un metro cuadrado que se necesitara para cada capa del tratamiento superficial triple.

La cantidad de asfalto diluido que se obtengan en ambos diseños será el punto de análisis de la presente investigación donde en la misma podremos determinar el efecto que produce la viscosidad en el diseño de un tratamiento superficial triple si nuestro asfalto diluido presenta mayor viscosidad o menor viscosidad.

Además de eso aplicaremos el tratamiento superficial triple en el diseño Marshall para poder contrastar parámetros físicos mecánicos entre ambos asfaltos diluidos el cual nos ayudara a realizar un mejor análisis.

## **1.7 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente trabajo corresponde al tipo de investigación aplicada, a un nivel de investigación que tiene un alcance causal o explicativo con diseño experimental en la categoría de casi experimento donde llegaremos a describir las causas, por qué y el cómo se dan los fenómenos en su contexto natural para después analizarlos.

## 1.8 CRITERIOS DE DISEÑO METODOLÓGICO

### 1.8.1 Unidad de muestra, población y muestra:

- ❖ **Unidad de muestra:** Ensayos de laboratorio de asfaltos
- ❖ **Población:** Infinita, todos los ensayos de laboratorio de asfaltos
- ❖ **Muestra:** Número confiables ensayos

## 1.9 TAMAÑO DE MUESTRA

Unidad de muestra elemental: Ensayos de laboratorio

Tamaño de muestra “n”: desconocido.

- Una investigación es exigente y por lo menos se tiene que establecer como nivel de confianza NC = 95%, de acuerdo a ello la variable estandarizada es  $Z = 1,96$  (tabla 46)

**Tabla 2.3: Valores frecuentes de la variable estandarizada**

|           |      |
|-----------|------|
|           |      |
| <b>90</b> | 1,64 |
| <b>95</b> | 1,96 |
| <b>97</b> | 2,17 |
| <b>98</b> | 2,33 |
| <b>99</b> | 2,58 |

**Fuente:** Elaboración propia.

- El margen de error es:  $e = 5 \%$ , deducido por el nivel de confianza que propone el investigador
- Por el corto tiempo establecido para la tarea, se puede asumir una varianza de  $\sigma^2 = 0.10$

|   |
|---|
| $\sigma^2 = 0,25$ ; Investigaciones que requieran la mayor cantidad de tiempo y muestra<br>$\sigma^2 = 0,15$ ; Investigaciones que requieran en promedio 6 meses de tiempo<br>$\sigma^2 = 0,10$ ; Investigaciones que requieran entre 4-6 meses de tiempo |
|---|

| Tipo de población                            | Para medias poblacionales  | Para proporciones poblacionales  |
|--|--|--|
| Población infinita<br>(muestreo aleatorio)   | $n = \frac{Z^2 \sigma^2}{e^2}$   | $n = \frac{Z^2 p q}{e^2}$  |
| Población finita<br>(muestreo aleatorio)     | $n = \frac{Z^2 N \sigma^2}{(N-1)e^2 + Z^2 \sigma^2}$   | $n = \frac{Z^2 N p q}{(N-1)e^2 + Z^2 p q}$   |
| Población finita<br>(muestreo estratificado) | $n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma_i^2}{N \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma_i^2}{N}}$ | $n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i p_i q_i}{N \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n N_i p_i q_i}{N}}$ |

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2}{e^2}$$

$$n = \frac{1.96^2 * 0,10}{0.05^2} = 154$$

$$n = 154 \text{ ensayos}$$

Con el valor del número de ensayos que resultaba de utilizar el nivel de confianza del 95% y un error del 5% se procedió a usar este dato para estratificar el muestreo, sabiendo el listado de ensayos a realizar en el laboratorio.

La siguiente ecuación es para un muestreo estratificado de la población, para saber aproximadamente el número de ensayos a realizar

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma_i^2}{N \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n N_i \sigma_i^2}{N}}$$

$$n = \frac{154 * 0,10}{154 \left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{154 * 0,10}{154}} = 76,916$$

$$n = 78 \text{ ensayos}$$

## CAPÍTULO II

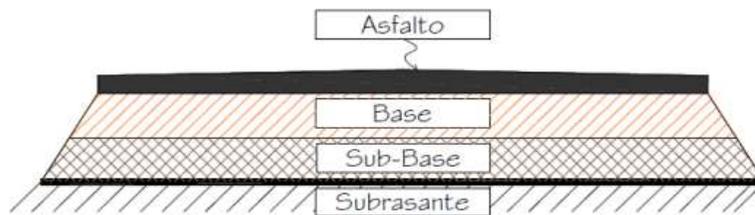
### LA VISCOSIDAD DE LOS ASFALTOS DILUIDOS DISPUESTOS EN LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

#### 2.1 PAVIMENTOS

Los pavimentos son estructuras diseñadas para entregar al usuario seguridad y comodidad al conducir, esto significa que el camino debe entregar un nivel de servicio acorde a la demanda solicitada.

Un pavimento está constituido por conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuados compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que deben resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

**Figura 2.1: Paquete estructural de un pavimento**



**Fuente:** Carlos Mario Cruz Arias, Eloy Eduardo Palacios Ramírez

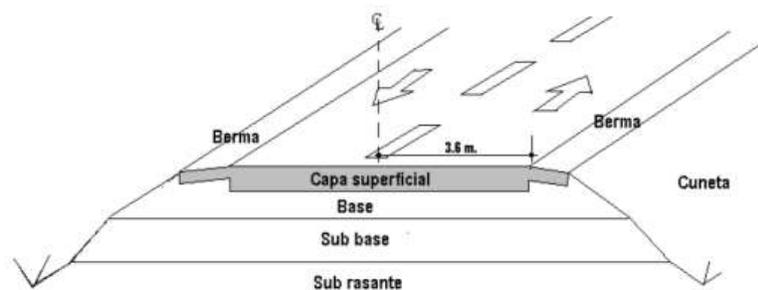
#### 2.2 Pavimentos flexibles

Se denomina pavimentos flexibles a aquellos cuya estructura total se deflcta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings. La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende

es poder soportar la carga total en el conjunto de capas. Las capas de un pavimento flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto, la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base. La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 8 años y normalmente suele tener una vida útil de 20 años.

Las capas de un pavimento flexible suelen ser: capa superficial o capa de rodadura que es la que se encuentran en contacto con el tráfico rodado y que normalmente ha sido elaborada con varias capas asfálticas. La capa base es la capa que está debajo de la capa de rodadura y está, normalmente, construida a base de agregados y puede estar estabilizada o sin estabilizar. La capa sub – base es la capa o capas que se encuentra inmediatamente debajo de la capa base.

**Figura 2.2: Estructura de un pavimento flexible**



**Fuente:** Diseño de pavimento flexible y rígido (Monsalve Lina, Giraldo Laura)

### 2.2.1 Funciones de las capas de un pavimento flexible

#### La sub rasante

Es la capa de terreno que soporta el paquete estructural y que se extiende hasta una profundidad en la cual no influyen las cargas de tránsito. Esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado. Una vez compactada, debe tener las propiedades, secciones transversales y pendientes especificadas de la vía. El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de

la sub rasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de estabilidad, incompresibilidad y resistencia a la expansión y contracción por efectos de la humedad.

### **Capa subbase**

La subbase se localiza en la parte inferior de la base, por encima de la sub rasante. Es la capa de la estructura de pavimento destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas en la carpeta asfáltica. Está conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas. Además, la subbase controla los cambios de volumen y elasticidad del material del terreno de fundación, que serían dañinos para el pavimento. La capa subbase tendrá la función:

- a. Reducir el costo del pavimento disminuyendo el espesor de la base que se construye, generalmente, con materiales de mayor costo por tener que cumplir con especificaciones más rígidas.
- b. Proteger a la base aislándola de la terracería ya que cuando ésta está formada por material fino y plástico y cuando la base es de textura abierta, de no existir el aislamiento dado por el material de subbase, el material de la terracería se introduciría en la base pudiendo provocar cambios volumétricos perjudiciales la variar las condiciones de humedad.
- c. Servir como capa de drenaje al pavimento.
- d. Las especificaciones que debe cumplir la capa subbase es la siguiente:
  - Debe ser un suelo de preferencia A-1 o A-2 de la clasificación AASHTO
  - Limite líquido menor a 25
  - Índice de plasticidad no mayor a 6
  - C, B, R. mayor a 30%
  - Material que pasa el tamiz N.º 200 no debe exceder de 2/3 del que pasa tamiz N.º 40

## **Capa base**

Es la capa de pavimento ubicada debajo de la superficie de rodadura y tiene como función primordial soportar, distribuir y transmitir las cargas a la subbase, que se encuentra en la parte inferior. La base puede estar constituida principalmente por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede estar conformada con cemento Portland, cal o materiales bituminosos, recibiendo el nombre de base estabilizada. Éstas deben tener la suficiente resistencia para recibir la carga de la superficie y transmitirla hacia los niveles inferiores del paquete estructural.

Los principales requisitos que debe satisfacer la capa base son los siguientes:

- a. Tener en todo tiempo la resistencia estructural para soportar las presiones que le sean transmitidas por los vehículos estacionados o en movimiento
- b. Tener el espesor necesario para que dichas presiones al ser transmitidas a la subbase o a la subrasante, no exceda la resistencia estructural d
- c. No presentar cambios volumétricos perjudiciales al variar las condiciones de humedad.
- d. Las especificaciones que debe cumplir son las siguientes:
  - Se recomienda suelos A-1-a y A-1-b de la clasificación AASHTO.
  - Tener granulometría especificada.
  - Límite líquido menor a 25.
  - Índice de plasticidad menor o igual a 6.
  - C. B. R. mayor a 80%.
  - El material que pasa el tamiz N.º 40 con relación al que pasa el tamiz N.º 200 debe tener una relación de 0.65
  - Desgaste de Los Ángeles menor a 40%.

## **Carpeta o capa de rodadura**

Es la capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base para satisfacer las funciones siguientes:

- a. Proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita, en todo tiempo un tránsito fácil y cómodo de los vehículos.

- b. Impedir la infiltración del agua de lluvia hacia las capas inferiores, para impedir que el agua disminuya su capacidad para soportar las cargas.
- c. Resistir la acción destructora de los vehículos y de los agentes climáticos.
- d. Según los espesores la capa de rodadura se puede dividir en:
  - Tratamiento superficial simple igual a  $3/8''$ .
  - Tratamiento superficial doble igual a  $3/4''$ .
  - Tratamiento superficial triple igual a  $3/4''$ .
  - Concreto asfáltico entre  $2''$  y  $4''$ .
  - Macadam asfáltico entre  $3''$  y  $5''$

### **2.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un cemento asfáltico (ligante hidrocarbonato) de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua 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, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos.

El diseño de mezclas asfálticas para pavimentos, como cualquier diseño de ingeniería de materiales, es una cuestión de selección y proporciones de materiales para obtener las cualidades y propiedades deseadas una vez finalizada la construcción. El objetivo general es una mezcla con graduación de agregados económicos (dentro de las exigencias de las especificaciones) y un contenido de asfalto adecuado que produzca una mezcla que posea:

1. Asfalto suficiente para asegurar un pavimento durable a través del total recubrimiento de las partículas del agregado e impermeabilización y trabazón de las mismas bajo una compactación.
2. Estabilidad suficiente de la mezcla para satisfacer los requerimientos de servicio y las demandas del tráfico sin deformaciones o desplazamiento.

3. Cantidad de vacíos en la mezcla total compactada suficiente para evitar el afloramiento, la exudación y la pérdida de estabilidad.

4. Adecuada trabajabilidad para permitir una operación de construcción eficiente en la colocación de la mezcla para pavimentos.

Normalmente las pruebas que se realizan para el diseño de mezclas asfálticas tienen cuatro aplicaciones importantes en todo proyecto constructivo, estas son:

1. Diseño preliminar.
2. Aceptación de los materiales.
3. Control de producción de las mezclas.
4. Control de rutina de la construcción.

### **2.3.1 Ensayos de diseño preliminar**

El principal propósito de los ensayos preliminares de proyecto es determinar si las fuentes locales proveen agregados de calidad apropiada para elaborar una mezcla que satisfaga 18 los requerimientos granulométricos y propios de la mezcla. También el asfalto debe cumplir con las exigencias prescriptas. Cuando se consideren varias fuentes de provisión de agregados, las mezclas experimentales pueden determinar la combinación más económica a usar. Los resultados del diseño preliminar de la mezcla sirven de base para una estimación previa de costos. Estos resultados indican, además, si los requerimientos de proyecto pueden ser obtenidos dentro del marco de las especificaciones.

### **2.3.2 Ensayos de aceptación de materiales**

El objetivo de esta prueba es determinar la mezcla de agregados más económica que satisfaga tanto la granulometría como los requerimientos de diseño. Esto asegura la selección de los materiales apropiados y permite al contratista comenzar el acopio de estos materiales en el lugar de trabajo.

### **Ensayos de los agregados**

- Ensayo de resistencia a la desintegración por abrasión mecánica ensayo de desgaste mediante la máquina de los ángeles ASTM C 131; AASHTO T 96

- Análisis granulométrico AASHTO T 27.
- Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración AASHTO T 104; ASTM C88.
- Ensayo de caras fracturadas ASTM D 5821.
- Determinación del índice de laminaridad norma BRITISH STANDAR 812.
- Determinación del índice de agujas (alargamiento) norma BRITISH STANDAR 812
- Pesos específicos y absorción de la grava método del cesto - AASHTO T 85; ASTM C 127.

### **2.3.3 Ensayos de producción de la mezcla**

Las pruebas de control de producción de la mezcla se realizan al comienzo de su elaboración y en conjunción con la calibración de esta, de acuerdo a la composición de la mezcla, es decir, la graduación de los materiales combinados y el contenido de asfalto seleccionado. Las mezclas de pruebas para los ensayos de control de mezclado sirven para determinar si la mezcla para pavimentación producida, cumple con especificaciones técnicas.

### **2.3.4 Ensayos de rutina para control de la construcción**

Los ensayos de control de la construcción se realizan como rutina y de modo periódico por la inspección, durante la construcción del pavimento. Mientras obtenidas al azar se chequean para determinar sus propiedades. Los resultados de estos ensayos son comparados con los obtenidos en los ensayos de control de producción y con los requerimientos de las especificaciones. Aunque este tipo de prueba es de rutina, requiere una atención cuidadosa. Su importancia se enfatiza debido a que los resultados sirven como base para la aceptación o rechazo final de la construcción del pavimento.

## **2.4 TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR SU MÉTODO DE ELABORACIÓN**

Por su elaboración las mezclas se dividen en:

- Mezclas asfálticas en frío.

- Mezclas asfálticas en caliente.

Mezclas asfálticas en frío; son elaboradas con asfaltos diluidos o emulsionados. Para este tipo de mezcla es necesario cuidar que la naturaleza de la roca sea aceptable a los efectos del desplazamiento del material asfáltico por el agua.

Mezclas asfálticas en caliente; Para su elaboración es necesario un proceso previo de secado y calentamiento de los áridos. Se usa en este caso cemento asfáltico, el cual es sometido a un calentamiento necesario para la mezcla ya que se debe reducir la viscosidad del betún.

#### **2.4.1 Mezclas asfálticas en Frío:**

Se define como mezcla asfáltica en frío a la combinación de áridos y un ligante bituminoso. Su campo de aplicación puede ser en capas superficiales (para tráfico ligero y mediano) o de subbase, si la estructura del pavimento es diseñada adecuadamente. En caso de usar en la base o subbase, pueden ser convenientes para todos los tipos de tráfico.

Entre otros aspectos importantes que presentan las mezclas en frío y caben resaltar están:

- a. Economía de energía para el calentamiento.
- b. Se evitan problemas de contaminación atmosférica (humo y polvo que son lanzados a la atmosfera por las plantas de elaboración de mezclas asfálticas en caliente).
- c. En el caso de que el material sea del tipo emulsión, que es prácticamente el más usado a nivel mundial para estas mezclas asfálticas en frío, se ahorra el material solvente.
- d. Menor impacto ecológico.
- e. Menor costo de los equipos, llegando en algunas aplicaciones a técnicas manuales.
- f. Versatilidad ante climas y materiales.
- g. Mejora en los tipos de emulsiones, que han permitido un mayor campo de aplicación.
- h. Reduce los costos de construcción, pero no la resistencia o calidad de la estructura del pavimento.

Las mezclas asfálticas en frío son generalmente hechas con asfaltos diluidos o emulsionados. Estos últimos pueden ser del tipo amónico o catiónico, de grado MS o SS y los asfaltos diluidos pueden ser del grado MC o SC.

En la tabla 2.4 se indican los productos asfálticos recomendados para los distintos tipos de mezclas en frío para la pavimentación. Usualmente, el tipo de agregado decide el tipo de producto a usar, mientras que el método de mezclado y las condiciones climáticas determinan el grado, dentro de un tipo dado.

**Tabla 2.4: Guía para uso de productos asfálticos en mezcla en frío**

| Tipos de construcción                    | Asfaltos emulsionados |      |       |        |        |         |         |      |            |       |        |       | Asfaltos Diluidos   |    |     |                     |      |     |     |      |
|--|-----------------------|------|-------|--------|--------|---------|---------|------|------------|-------|--------|-------|---------------------|----|-----|---------------------|------|-----|-----|------|
|  | Aniónicos             |      |       |        |        |         |         |      | Catiónicos |       |        |       | Endurec. media (MC) |    |     | Endurec. lenta (SC) |      |     |     |      |
|  | MS-1                  | MS-2 | MS-2h | HFMS-1 | HFMS-2 | HFMS-2h | HFMS-2s | SS-1 | SS-1h      | CMS-2 | CMS-2h | CSS-1 | CSS-1h              | 70 | 250 | 800                 | 3000 | 250 | 800 | 3000 |
| <b>Mezcla fría en planta</b>             |                       |      |       |        |        |         |         |      |            |       |        |       |                     |    |     |                     |      |     |     |      |
| Sup. y base de pavimentos                |                       |      |       |        |        |         |         |      |            |       |        |       |                     |    |     |                     |      |     |     |      |
| Agreg. mal graduado                      | X                     | X    | X     | X      | X      | X       |         |      |            | X     | X      |       |                     |    |     |                     | X    |     |     |      |
| Agreg. bien graduado                     |                       |      |       |        |        |         | X       | X    | X          |       |        | X     | X                   | X  | X   | X                   | X    | X   | X   | X    |
| Bacheo uso inmediato                     |                       |      |       |        |        |         |         | X    | X          |       |        | X     | X                   | X  | X   |                     |      |     | X   |      |
| Bacheo almacenado                        |                       |      |       |        |        |         |         |      |            |       |        |       |                     | X  | X   |                     |      | X   | X   |      |
| <b>Mezcla in situ (mezcla en camino)</b> |                       |      |       |        |        |         |         |      |            |       |        |       |                     |    |     |                     |      |     |     |      |
| Sup. y base de pavimento                 |                       |      |       |        |        |         |         |      |            |       |        |       |                     |    |     |                     |      |     |     |      |
| Agreg. mal graduado                      | X                     | X    | X     | X      | X      | X       |         |      |            | X     | X      |       |                     |    |     | X                   | X    |     | X   | X    |
| Agreg. bien graduado                     |                       |      |       |        |        |         | X       | X    | X          |       |        | X     | X                   | X  | X   |                     |      | X   | X   |      |
| Arena                                    |                       |      |       |        |        |         | X       | X    | X          |       |        | X     | X                   | X  | X   |                     |      |     |     |      |
| Suelo arenoso                            |                       |      |       |        |        |         | X       | X    | X          |       |        | X     | X                   | X  | X   |                     |      |     |     |      |
| Bacheo uso inmediato                     |                       |      |       |        |        |         | X       | X    | X          |       |        | X     | X                   | X  | X   |                     |      |     | X   |      |
| Bacheo almacenado                        |                       |      |       |        |        |         |         |      |            |       |        |       |                     | X  | X   |                     |      | X   | X   |      |

**Fuente:** Tratamientos asfálticos superficiales, MS-13, Instituto del asfalto

En cuanto a material pétreo, estos pueden ser cualquiera desde agregados triturados de granulometría cerrada hasta suelos granulares con porcentaje relativamente altos de polvo, los cuales, en el momento del mezclado podrán ser secados con vapor, aire seco o artificialmente. Los métodos de mezclado pueden realizarse tanto en el camino, a lo largo de él, como en plantas de mezclado fijas. Las mezclas resultantes generalmente son distribuidas y compactadas a temperatura ambiente; sin embargo, existen pocas excepciones. A pesar de todo lo expuesto, aún se está lejos de un enfrentamiento entre técnicas de las mezclas asfálticas en frío y en caliente. Las condiciones locales y económicas decidirán la aplicación de uno u otro tipo de mezcla.

#### **2.4.1.1 Tratamientos asfálticos superficiales**

El tratamiento asfáltico superficial es un término o denominación muy amplia que abarca diversas aplicaciones de asfalto y asfalto – agregado, generalmente de espesor menor que 2.5 cm., a cualquier clase de superficie de carretera. Construido adecuadamente, los tratamientos asfálticos superficiales son económicos, fáciles de colocar y de larga duración. Por impermeabilización de la base hacen que ésta tenga un soporte adecuado, aunque de por sí los tratamientos dan poca resistencia estructural a los pavimentos. Los tipos de tratamientos superficiales van desde una simple y ligera aplicación de asfalto líquido hasta una serie de capas alternadas de asfalto y agregado. Todos ellos sellan y aumentan la vida de la superficie de las carreteras, pero cada uno tiene una o más fines específicos.

##### **2.4.1.1.1 Tipos de tratamientos superficiales**

**1. Tratamiento superficial simple.** - Una sola aplicación de asfalto a cualquier clase de superficie de carretera, seguida de una aplicación de agregado de tamaño tan uniforme como sea posible. El espesor del tratamiento es casi igual al del tamaño nominal máximo del agregado. Un tratamiento superficial simple se suele usar como capa de desgaste y de impermeabilización.

**2. Tratamiento superficial múltiple.** - Son dos o más tratamientos superficiales colocados uno encima del otro. El tamaño máximo del agregado de cada tratamiento sucesivo, es corrientemente la mitad del tamaño del agregado colocado previamente, y el espesor total es casi el mismo del tamaño nominal máximo del agregado de la primera

capa. También, un tratamiento superficial múltiple puede ser una serie de tratamientos simples, que producen una capa de pavimento de un espesor de hasta de 2.5 centímetros o más.

Un tratamiento múltiple, es una capa más densa e impermeabilizante que una capa simple y que proporciona una resistencia.

#### **2.4.1.1.2 Usos de los tratamientos superficiales**

Los tratamientos superficiales son usados para:

**1) Conseguir una superficie de bajo costo que sirva en todo tiempo.** - Para tráfico comprendido entre categoría ligera a media, un tratamiento superficial sobre una base granular dará una superficie una económica y de larga duración.

**2) Impermeabilizar.** - Para dar su mejor comportamiento, un pavimento deberá evitar la entrada del agua superficial a la fundación. Los tratamientos superficiales son ampliamente usados para evitar que el agua entre en las bases granulares, como así en los pavimentos viejos que se han agrietado o envejecido.

**3) Unir la base a la capa que queda encima de ella.** - Las bases granulares deberán ser tratadas con capas de imprimación para asegurar la adherencia de las capas superiores, llenando os vacíos, recubrimiento y uniendo el material suelto y endureciendo la superficie.

**4) Proporcionar una superficie anti resbalante.** - Los pavimentos que se han vuelto resbaladizos debido al desgaste de las superficies de los agregados deben recibir un tratamiento en la superficie con agregados duros, ásperos y angulares, de manera de restablecer las características anti resbalantes.

**5) Dar nueva vida a las superficies secas y envejecidas.** - Un pavimento que tiene años y que está a punto de deshacerse se puede restaurar par que de un servicio útil aplicando un sello negro o un tratamiento superficial de asfalto y agregado.

**6) Proporcionar una cubierta temporal para una nueva base.** - A veces se desea tener una nueva capa base expuesta a la acción de un invierno, a fin de descubrir las posibles fallas antes de colocar la carpeta de rodamiento, para su corrección previa. Un tratamiento superficial puede ser una solución temporal bastante buena. También, cuando

se planea la construcción por etapas, un tratamiento superficial se suele usar antes de colocar las capas definitivas de la superficie de rodamiento.

**7) Reforzar el pavimento.** - Los viejos pavimentos que necesitan algún refuerzo debido a que las condiciones de tráfico han cambiado se pueden salvar, evitando la desintegración de los mismos con tratamientos superficiales múltiples.

**8) Controlar el polvo.** - El polvo proveniente de las superficies de carreteras no tratadas se puede controlar eficientemente con la aplicación de asfalto líquido ligero o emulsiones diluidas de rotura lenta.

**9) Guiar el tráfico.** - Los tratamientos superficiales con agregados de color diferente al del pavimento principal dan una demarcación entre los hombrillos y los canales de tráfico.

**10) Mejorar la visibilidad nocturna.** - Cuando no existen líneas de demarcación de los canales, los tratamientos superficiales con agregados reflectores de luz pueden usarse para mejorar la visibilidad nocturna.

**11) Asegurar la fácil evacuación de las aguas superficiales.**

## **2.4.2 Materiales**

### **2.4.2.1 Asfaltos**

El asfalto, es sin lugar a dudas, uno de los materiales más antiguos utilizados por el hombre. Excavaciones arqueológicas revelan su empleo en épocas anteriores a nuestra era. Es así como por los años 3000 al 2500 AC, en Mesopotamia, era utilizado como aglomerante en trabajos de albañilería y construcción de caminos. De igual manera los estanques de agua y los baños sagrados eran impermeabilizados con asfalto. Similares antecedentes se tienen de los años 2500 al 500 AC en Babilonia y del 1440 al 600 AC por los Asirios; incluso citas bíblicas hablan de su empleo, como impermeabilizante en el arca de Noé. También los egipcios utilizaron el asfalto en trabajos de momificación. El descubrimiento de asfaltos naturales se remonta al año 1595, cuando sir Walter Raleigh descubrió los yacimientos de la isla Trinidad.

Las pavimentaciones pioneras datan de 1802 en Francia, 1838 en Estados Unidos en el estado de Filadelfia y 1869 en Inglaterra, las cuales fueron ejecutadas con asfaltos naturales.

A partir de 1909 se inició el empleo masivo del asfalto derivado de petróleo que, por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento.

#### **2.4.2.1.1 Obtención y tipos**

Los materiales bituminosos que se utilizan en pavimentación se clasifican en dos tipos: alquitranes y asfaltos.

Los alquitranes para pavimentación resultan de procesos de refinación de alquitranes en bruto, que se originan en la destilación de la hulla, durante la fabricación de gas y carbón coque.

Los asfaltos son materiales aglomerantes, de color oscuro, constituidos por mezclas complejas de hidrocarburos no volátiles de elevado peso molecular. Originarios de crudos de petróleo, en el cual están disueltos, pueden obtenerse ya sea por evaporación natural de depósitos localizados en la superficie terrestre (asfaltos naturales) o por procesos de destilación industrial.

Los asfaltos naturales pueden escurrir en depresiones de la superficie terrestre, constituyendo lagos de asfaltos, como los de la isla Trinidad y Bermudas, o aparecen impregnando los poros de algunas rocas, formando las denominadas rocas asfálticas, como la gilsonita. También se encuentran mezclados con impurezas minerales, con arenas y arcillas, en cantidades variables, siendo generalmente sometidas a procesos de purificación para ser utilizadas en pavimentación.

Actualmente la mayor parte del asfalto producido y utilizado en el mundo es extraída del petróleo, del que se obtiene exento de impurezas, siendo completamente soluble en sulfuro de carbono, tetra cloruro de carbono o tricloroetileno

#### **2.4.2.1.2 Asfaltos derivados del petróleo**

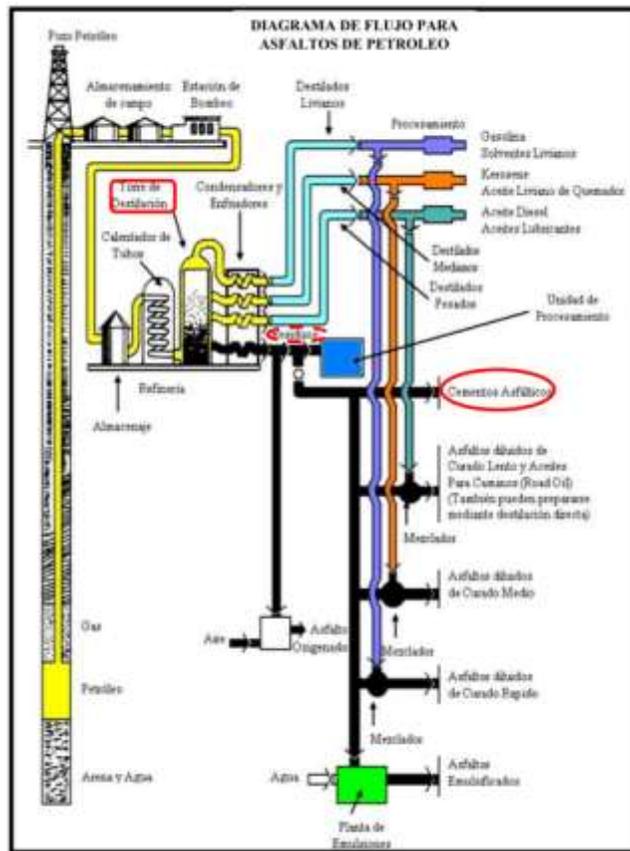
Los asfaltos más usados son los que provienen de la destilación del petróleo. Según el origen del petróleo, la composición de la base se divide en:

- Base asfáltica.
- Base intermedia.
- Base parafínica.

Los asfaltos para caminos provienen de los dos primeros tipos

Para la obtención del asfalto, el petróleo es sometido a un proceso de destilación en el cual las fracciones livianas, como por ejemplo nafta y kerosene, son separadas de la base asfáltica por vaporización, fraccionamiento y condensación. La operación se desarrolla en una torre de fraccionamiento al vacío, con arrastre de vapor, a fin de lograr un proceso de refinado a temperaturas relativamente bajas, de manera de evitar un craquea miento y como consecuencia la pérdida de sus propiedades aglomerantes. (Ver figura 2.3).

**Figura 2.3: Proceso de refinación del petróleo para la obtención del asfalto**



**Fuente:** Baldiviezo Rufino: Estimación de la influencia en la macro textura y micro textura en las propiedades de las mezclas asfálticas.

### 2.4.2.2 Propiedades del asfalto.

Las propiedades del asfalto básicamente se dividen en dos

- Propiedades químicas.
- propiedades físicas.

#### A. Propiedades químicas

Básicamente el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfáltenos y máltenos, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfáltenos y las resinas:

- **Asfáltenos:** Los asfáltenos no se disuelven en el heptano. 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
- **Máltenos:** Los máltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro. Proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el asfalto. Los aceites son de color más claro que las resinas. Actúan como un medio de transporte para los asfáltenos y las resinas.

La proporción de asfáltenos y máltenos en el asfalto puede variar debido a diversos 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 del agregado. Las reacciones y cambios que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo y con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas para formar una sola molécula más pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto.

**Tabla 2.5: Composición química del asfalto**

| <b>Elementos</b> | <b>Concentración</b> |
|------------------|----------------------|
| Carbono          | 82-88 %              |
| Hidrógeno        | 8-11 %               |
| Azufre           | 0-6 %                |
| Oxígeno          | 0-1.5 %              |
| Nitrógeno        | 0-1 %                |

**Fuente:** Conferencia: Introducción a la Química del Asfalto por: Ing. German Garzón,  
Costa Rica

### **B. Propiedades físicas**

Las propiedades físicas de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

#### **La 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 misma durabilidad del asfalto. Sin embargo, existen pruebas rutinarias para evaluar la durabilidad del asfalto como la película delgada en horno (TFO) y la prueba de película delgada en Horno rotatorio (RTFO)

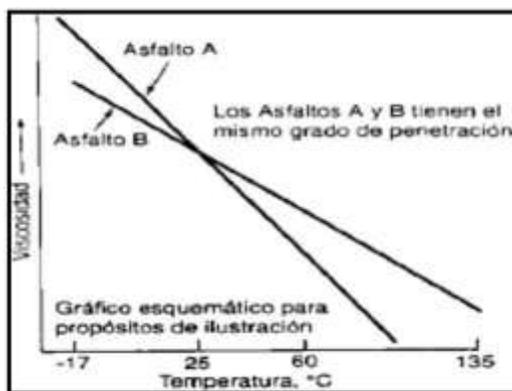
#### **Adhesión y cohesión**

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado. El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada por alguna como relacionada con la adhesión y cohesión. En consecuencia, es del tipo “clasifica no clasifica”, y solo puede indicar si la muestra es o no, lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

### Susceptibilidad a la temperatura

Todos los asfaltos son termoplásticos, se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. A esta característica se la conoce como susceptibilidad a la temperatura y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad y la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferentes orígenes y aun así los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia. En la figura 2.4 muestra la susceptibilidad a la temperatura de dos asfaltos (asfalto A y asfalto B) que tienen el mismo grado de penetración pero que provienen de crudos de diferente origen. Obsérvese que a 25°C la viscosidad de los dos asfaltos es la misma. Sin embargo, a cualquier otra temperatura las viscosidades son diferentes. Esto se debe a que los dos asfaltos tienen diferente susceptibilidad a la temperatura.

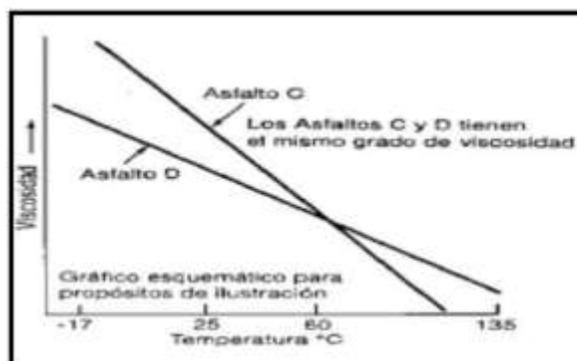
**Figura 2.4: Variación de la viscosidad con temperatura de dos asfaltos graduados por penetración**



**Fuente:** Baldiviezo Rufino: Estimación de la influencia en la macro textura y micro textura en las propiedades de las mezclas asfálticas.

Lo mismo puede ocurrir con dos asfaltos con el mismo grado de viscosidad, pero provenientes de crudos de diferente origen. La Figura 2.5 por ejemplo, muestra que el Asfalto C y el asfalto D tienen la misma viscosidad a una temperatura de 60°C. Sin embargo, a cualquier otra temperatura las viscosidades son diferentes.

**Figura 2.5: Variación de la viscosidad con temperatura de dos asfaltos graduados por viscosidad**



**Fuente:** Baldivezo Rufino: Estimación de la influencia en la macro textura y micro textura en las propiedades de las mezclas asfálticas.

La conclusión es que, sin importar el sistema de clasificación utilizado, puede haber asfaltos derivados de crudos diferentes con diferente susceptibilidad a la temperatura. Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues ella indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera. Puede observarse, en referencia a la Figura 2.5 que a temperaturas mayores de 25°C, las cuales abarcan todas las temperaturas de construcción, el asfalto A es menos viscoso (más fluido) que el Asfalto como resultado, la temperatura necesaria para que el asfalto A sea lo suficiente fluido y pueda cubrir apropiadamente las partículas de agregado en la mezcla es menor que la temperatura necesaria para obtener los mismos resultados con el asfalto B. Lo mismo ocurre con la temperatura de compactación.

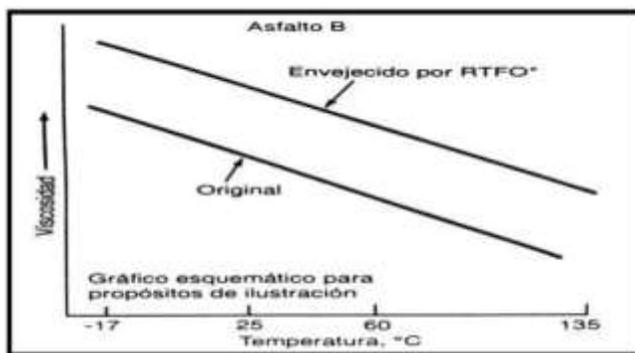
Puede ser necesario compactar una mezcla con el asfalto A usando una temperatura menor que la requerida por una mezcla que contiene el Asfalto B.

### **Endurecimiento y envejecimiento**

Construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa del mezclado. En la Figura 2.6 muestra el aumento en viscosidad debido al calentamiento de una película delgada de asfalto. El margen de viscosidad del material original (antes de la prueba de película delgada en horno rotatorio – RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento.

**Figura 2.6: Endurecimiento del asfalto después de expuesto a altas temperaturas**



**Fuente:** Ramírez Baldiviezo Rufino: Estimación de la influencia en la macro textura y micro textura en las propiedades de las mezclas asfálticas.

### 2.4.2.3 Clasificación de los asfaltos

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

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

- a) Asfaltos para pavimentos
  - Cemento asfáltico.
  - Asfalto diluido o cortado.
  - Asfalto emulsificado.
- b) Asfaltos industriales
  - Asfaltos oxidados.

#### **2.4.2.3.1 Cemento asfáltico**

Los cementos asfálticos son residuos de la destilación del petróleo y se caracteriza por permanecer en estado semi sólido a temperatura ambiente.

Los cementos asfálticos mezclados con agregados forman concreto asfáltico, empleado en pavimentos, en las capas de rodadura.

Son los más utilizados en pavimentación, y se pueden subclasificar bajo tres sistemas diferentes: viscosidad antes y después de envejecimiento y penetración. Se preparan comercialmente en grados o rangos de consistencia, de acuerdo con el ensayo de penetración, siendo este uno de los ensayos más comunes en la caracterización del asfalto; como ejemplo de su designación se tienen estos tres tipos de asfaltos: AC 70-90, AC 60-80, AC 80-100, donde los números indican la penetración en décimas de milímetro.

#### **2.4.2.3.2 Asfaltos diluidos**

Los asfaltos diluidos o fluidificados son conocidos también como CUT- BACKS, son aquellos que proceden de la dilución del cemento asfáltico con un disolvente resultante de la destilación del petróleo. Surgieron como una solución al problema de las elevadas temperaturas necesarias para alcanzar el calentamiento de betún para lograr viscosidades que permitan un fácil manejo.

Los fluidificantes son un aditivo que tienen como función principal reducir la viscosidad, además son capaces de modificar ciertas propiedades del cemento asfáltico como son su adhesividad y emulsibilidad, dependiendo de su tipo y proporción en la que es empleado.

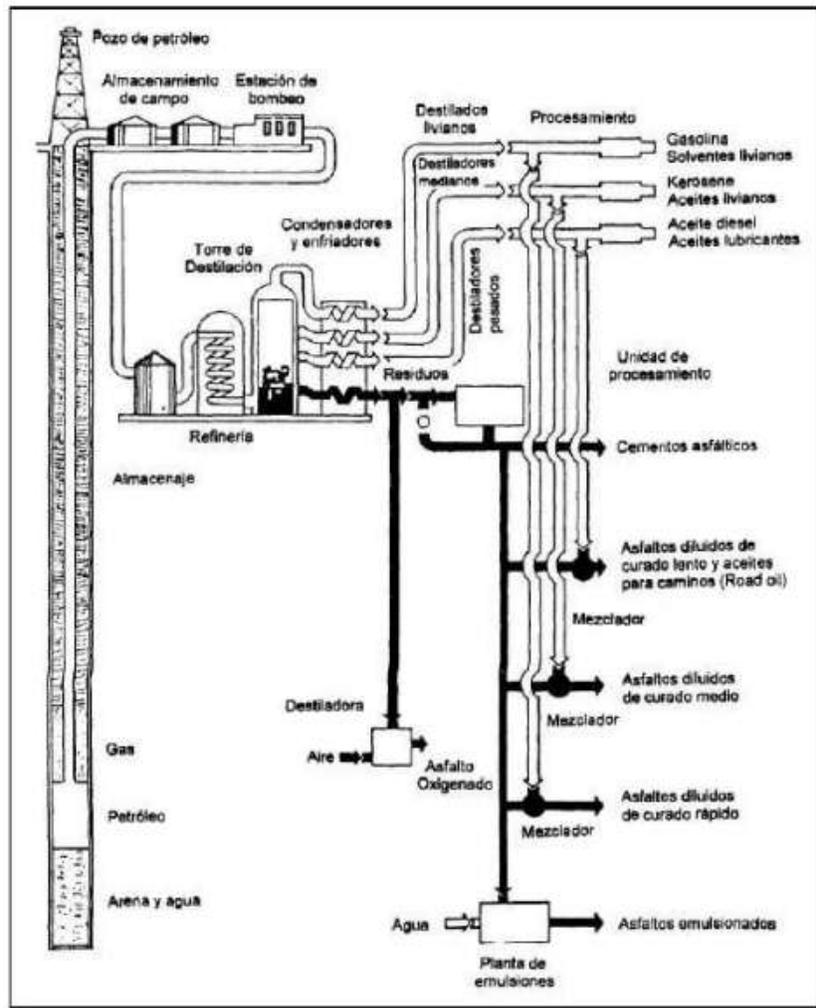
El porcentaje de fluidificante que contiene este tipo de asfalto es de un 18 a 50 por ciento, dependiendo de la rapidez de curado deseado.

Cuando el ligante ha sido extendido sobre la capa granular, su viscosidad se incrementa debido al proceso de curado, ya sea por enfriamiento o por evaporación. Si la viscosidad es elevada es necesario un calentamiento complementario para que reduzca notablemente su viscosidad.

Su empleo ha sido habitual en mezclas abiertas, tratamientos superficiales, tratamientos de penetración, riegos de imprimación, etc. Sin embargo, es importante destacar que se ha

generado una notable restricción debido a los problemas de calentamiento y contaminación generados por la evaporación del fluidificante, además por el encarecimiento de los productos derivados del petróleo, lo que resulta un gasto inútil e intolerable. (Arellano, 2019)

**Figura 2.7: Esquema de producción de los asfaltos diluidos**



**Fuente:** Aduviri Rita, Gutiérrez Joe, Panéz Alcides, Ramírez Juan, Reynoso Jhon, 2020).

#### 2.4.2.3.2.1 Clasificación de los Asfaltos Diluidos

Para disolver el asfalto se usan solventes derivados del petróleo, conocidos como diluyentes o destilados. Estos al tener contacto con el ambiente durante su vertido se evaporan, si el diluyente se evapora más rápido, este es de alta volatilidad, sin embargo,

si su evaporación es lenta, es de baja volatilidad. En base a lo explicado los asfaltos diluidos se clasifican según la velocidad relativa de evaporación, siendo: (Aduviri Rita, 2020)

#### **a. Curado Rápido (RC)**

Cuando el Cemento Asfáltico es de penetración 80/120 y el solvente es nafta o gasolina. Se emplea para riegos de liga, tratamientos superficiales, cuando se desea un cambio rápido del estado líquido de aplicación al cemento asfáltico original. Se clasifican en: RC-70, RC-250, RC-800, RC-3000.

Conformado por cementos asfáltico y disolventes de alta volatilidad con un porcentaje aproximado de 35%, usualmente con un punto de ebullición de rango similar a la nafta o gasolina. Estos pueden ser:

**Tabla 2.6: Asfaltos diluidos de curado rápido y su porcentaje de volumen de residuo asfáltico**

| <b>Grado</b> | <b>Residuo asfáltico en volumen</b> |
|--------------|-------------------------------------|
| RC-70        | 55%                                 |
| RC-250       | 65%                                 |
| RC-800       | 75%                                 |
| RC-3000      | 80%                                 |

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **b. Curado Medio (MC)**

Cuando el Cemento Asfáltico es de penetración 120/250 y el solvente es Kerosene. Se emplea principalmente para bacheos y tratamientos superficiales. Los productos de fraguado medio tienen buenas propiedades humectantes que permiten el revestimiento satisfactorio de los agregados en forma de polvos de graduación fina. Se clasifican en: MC-30, MC-70, MC-250, MC-800.

Constituido por cemento asfáltico y diluyentes de mediana volatilidad con un porcentaje aproximado de 50%, generalmente en el orden del punto de ebullición del kerosene. Los asfaltos MC son los siguientes:

**Tabla 2.7: Asfalto diluido de curado medio y su porcentaje de volumen de residuo asfáltico**

| <b>Grado</b> | <b>Residuo asfáltico en volumen</b> |
|--------------|-------------------------------------|
| MC-30        | 50%                                 |
| MC-70        | 63%                                 |
| MC-250       | 70%                                 |
| MC-800       | 82%                                 |

**Fuente:** Elaboración propia.

**c. Curado Lento (SC)**

Cuando el Cemento Asfáltico es de penetración 200/300 y el solvente es un gasóleo, ya sea el gasoil o el diésel. Se emplean cuando se desea una consistencia casi igual a la del aglutinante mismo, tanto en el momento del tratamiento como después de un período de curación. Se clasifican en: SC-70, SC-250, SC-800.

Compuesto por cemento asfáltico y disolventes de baja volatilidad como aceites o diésel en un porcentaje aproximado de 35%. Se pueden encontrar los siguientes asfaltos:

**Tabla 2.8: Asfaltos diluidos de curado lento y su porcentaje de volumen de residuo asfáltico**

| <b>Grado</b> | <b>Residuo asfáltico en volumen</b> |
|--------------|-------------------------------------|
| SC-70        | 50%                                 |
| SC-250       | 60%                                 |
| SC-800       | 70%                                 |

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **2.4.2.3.2.2 Diferencia entre asfalto diluido y asfalto emulsionado**

A grandes rasgos, un asfalto diluido es la combinación de un cemento asfáltico “puro” con un solvente del petróleo, el cual tiene la finalidad de disminuir la viscosidad de dicho asfalto. Un asfalto emulsionado, es la combinación de cemento asfáltico, agua y un agente emulsificante. Un asfalto emulsionado es menos viscoso que un asfalto diluido. Sin embargo, en una mezcla asfáltica usando como ligante un asfalto diluido o uno emulsionado, tanto el solvente del petróleo como el agua se evaporan (curado de la mezcla), quedando como residuo el cemento asfáltico “puro”. Por tal motivo, interesa conocer las propiedades de este ligante final puesto que es el que permanecerá en el pavimento durante su vida útil. No obstante, la durabilidad del mismo dependerá del tratamiento inicial que se le dé a cada mezcla en particular, ya que ambas poseen diferentes características, las que serán estudiadas más adelante.

#### **2.4.2.3.2.3 Especificaciones para asfaltos diluidos**

Los asfaltos diluidos se clasifican según su tipo y grado. Los tipos RC, MC y SC, indican la velocidad relativa de evaporación del solvente y los grados, 70, 250, 800, 3000, la viscosidad cinemática mínima permitida a 60°C en centistokes. El valor máximo admisible de viscosidad para cada grado es dos veces el valor mínimo permitido. Un stoke es el cociente entre la viscosidad dinámica o absoluta (medida en poises) y la densidad, ambas a la misma temperatura.

Los grados más viscosos de los tres tipos de asfalto (RC-3000, MC-3000 y SC3000) son sólo un poco menos viscosos que el cemento asfáltico de menor grado de viscosidad (AC-2.5). Los asfaltos diluidos de menor viscosidad (RC-70, MC-70 y SC-70) pueden ser vertidos con facilidad a temperatura ambiente (25°C). Tienen la misma consistencia que la crema de leche.

AASHTO y ASTM han adoptado especificaciones para los asfaltos diluidos. Además del ensayo de viscosidad a 60°C en la Tabla 2.9 se enumeran los ensayos necesarios y el método apropiado según AASHTO y ASTM para determinar las propiedades específicas de estos productos.

**Tabla 2.9: Especificaciones y ensayos para asfaltos diluidos**

| Ensayo                 | Método de ensayo |       | Tipo y N.º. De especificación |                          |            |
|------------------------|------------------|-------|-------------------------------|--------------------------|------------|
|                        |                  |       | AASHTO M81<br>ASTM D2028      | AASHTO M82<br>ASTM D2027 | ASTM D2026 |
|                        | AASHTO           | ASTM  | RC                            | MC                       | SC         |
| Viscosidad cinemática  | T201             | D2170 | X                             | X                        | X          |
| Pto. de inflamación    | T79              | D1310 | X                             | X                        | .....      |
| Pto. de inflamación    | T48              | D92   | .....                         | ....                     | X          |
| Destilación            | T78              | D402  | X                             | X                        | X          |
| Penetración            | T49              | D5    | .....                         | .....                    | .....      |
| Ductilidad             | T51              | D113  | X                             | X                        | X          |
| Viscosidad absoluta    | T202             | D2171 | X                             | X                        | X          |
| Residuo de penetración | T56              | D243  | ....                          | .....                    | X          |
| Presencia de agua      | T55              | D95   | X                             | X                        | X          |

**Fuente:** Franco (2002).

#### 2.4.2.3.2.4 Ensayos para asfaltos diluidos

Las propiedades de los asfaltos diluidos se asemejan a las propiedades de los cementos asfálticos. En la siguiente Figura N.º 2.10 se muestra los controles de calidad que deben tener los asfaltos diluidos.

**Figura 2.8: Controles de calidad de los asfaltos diluidos**



**Fuente:** Escalante (2020).

Asimismo, a continuación, describimos los ensayos a considerar para un buen control de calidad de los asfaltos diluidos.

### **Viscosidad cinemática**

La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación y clasificar los asfaltos líquidos en los grados RC, MC y SC. Se realiza a 60°C. Consiste en colocar un tubo normalizado cerrado con un tapón de corcho una cantidad específica de asfalto cuando el asfalto ha alcanzado una temperatura establecida, se quita el tapón y se mide en segundos, el tiempo necesario para que pasen a través del Furol 60 ml del material.

### **Punto de inflamación**

El objetivo y significado del ensayo de punto de inflamación es indicar la temperatura a la que puede calentarse el material, sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. En los materiales SC se usa el “vaso abierto de Cleveland; para los RC y MC, el “vaso abierto de Tag”

### **Destilación**

El ensayo de destilación se emplea para determinar las proporciones relativas de asfaltos y disolventes presentes en el cutback.

El ensayo se realiza colocando una cantidad específica de cutback en un matraz de destilación conectado a un condensador. El cutback se calienta gradualmente hasta una temperatura especificada y se anota la cantidad de disolvente destilado a diversas temperaturas.

Cuando se alcanza la temperatura de 360 °C se mide la cantidad de asfalto restante y se expresa como porcentaje en un volumen de la muestra original.

### **Ductilidad**

El ensayo consiste en moldear asfalto en condiciones y con dimensiones normalizadas de ensayo y en someterlo a alargamiento con una velocidad especificada hasta que el hilo que une los dos extremos se rompa

Normalmente, el ensayo se realiza a una temperatura de 25 °C y una velocidad de alargamiento de 5cm/min. La ductilidad se mide en un equipo llamado ductilímetro. La longitud (en cm) a la que el hilo del material se rompe define la ductilidad

### **Penetración**

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Esta se hace a 25 °C, calentando la muestra en un baño de agua termostáticamente controlada, la aguja cargada con 100 g y la carga se aplica durante 5 segundos. La unidad de penetración es la décima de milímetro

### **Solubilidad en tricloroetileno**

El proceso para determinar la solubilidad es muy simple. Se disuelven aproximadamente 2 grs. de asfalto en 100 ml de solvente y se filtra la solución a través de una plancha de asbesto colocada en un crisol de porcelana. Se pesa el material retenido por el filtro y se lo expresa como porcentaje de la muestra original, obteniéndose el porcentaje soluble

### **Contenido de humedad**

Se coloca en una retorta de metal (provista de un condensador de reflujo y colector graduado) un volumen medido de asfalto que se mezcla perfectamente con un disolvente de tipo nafta. Se aplica calor a la retorta y el agua contenida en la muestra se recoge en el colector. El volumen de agua se mide y se expresa en porcentaje del volumen de la mezcla original.

#### **2.4.2.3.3 Asfaltos emulsificado**

Son dispersiones de cemento asfáltico en fase acuosa, con estabilidad variable. El tiempo de quiebre y la viscosidad de las emulsiones dependen, entre otros factores de la cantidad y calidad de los agentes emulsificantes.

La cantidad de emulsificantes y aditivos químicos utilizados varía generalmente de 0,2% a 5%, y la cantidad de asfalto es del orden del 60% a 70%.

El color de las emulsiones asfálticas antes del quiebre es marrón y después del quiebre negro, constituyendo esta característica un elemento auxiliar para la inspección visual y

constatación rápida de la buena condición del producto. Las partículas de asfalto dispersas en la emulsión son visibles al microscopio variando su tamaño de 0.1 a 10 micrones

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

En cuanto a la carga de partícula, pueden ser:

- Cationicas.
- Aniónicas.

Y en cuanto al tiempo de quiebre:

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

#### **2.4.2.3.4 Asfaltos oxidados**

Los asfaltos oxidados o soplados, son asfaltos calentados y sometidos a la acción de una corriente de aire con el objeto de modificar sus características normales, a fin de adaptarlos para aplicaciones especiales. Los asfaltos oxidados son usados generalmente para fines industriales como impermeabilizantes, películas protectoras, etc. El proceso de oxidación produce en el asfalto las siguientes modificaciones físicas principales:

- Aumento de peso específico y consistencia.
- Disminución de ductilidad.
- Disminución de susceptibilidad térmica.

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

#### **2.4.2.4 Función del asfalto en los pavimentos**

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

- Aglomerante.
- Impermeabilizante.

Como aglomerante proporciona una íntima ligazón entre los agregados, capaz de resistir la acción mecánica producida por las cargas de los vehículos. Como impermeabilizante garantiza al pavimento una acción eficaz contra la penetración del agua proveniente, tanto de las precipitaciones como del subsuelo por acción capilar. Ningún otro material garantiza mejor que el asfalto una ejecución económica y simultánea de estas funciones, al mismo tiempo que proporciona al pavimento características de flexibilidad que permiten su acomodo sin fisura miento, ante eventuales consolidaciones de las capas subyacentes. Naturalmente, para que el asfalto desempeñe satisfactoriamente estas funciones que le son inherentes, es necesario que sea de buena calidad y por, sobre todo, que en la ejecución del pavimento se respeten todas las especificaciones establecidas en el diseño. Para seleccionar el grado adecuado del asfalto para un tratamiento superficial, se debe tomar en cuenta:

- 1) La temperatura de la superficie sobre la cual se va a colocar el asfalto.
- 2) La temperatura del aire.
- 3) La humedad y el viento.
- 4) La condición de la superficie.
- 5) El tipo y condición del agregado que se va a utilizar.
- 6) El equipo que se va utilizar.

El grado correcto del asfalto para el tratamiento superficial deberá cumplir con las siguientes condiciones:

- I. Al aplicarse, debe ser de fluidez suficiente para regar fácilmente y para cubrir la superficie de manera uniforme.
- II. Después de haber sido aplicado, debe retener la consistencia apropiada para cubrir el agregado.
- III. Debe curar y desarrollar adherencia prontamente
- IV. Después del aplanado y curado debe retener el agregado fuertemente unido a la superficie de la carretera, evitando su desplazamiento por el tráfico.
- V. Cuando se aplique en cantidad correcta no deberá sangrar ni despegarse al cambiar las condiciones de tiempo.

El grado apropiado de los asfaltos líquidos, incluidas las emulsiones asfálticas, deberán cumplir con los requisitos citados. En todo tiempo seco y caliente, los cementos asfálticos más blandos son muy satisfactorios cuando el agregado seco se aplica inmediatamente después del riego asfáltico. Los asfaltos líquidos de curación rápida, las emulsiones de rotura rápida y los cementos asfálticos de penetración 120 a 150 y 200 a 300 son generalmente los mejores para los tratamientos superficiales.

Los asfaltos líquidos de curación media se pueden usar con éxito siempre y cuando se disponga de suficiente tiempo para su curación antes de permitir el tráfico sobre el tratamiento.

### **2.4.3 Agregados**

La mayor parte de los agregados duros, tales como arena, grava, piedra picada y escoria picada, se pueden utilizar con gran éxito en los tratamientos superficiales. El agregado seleccionado debe cumplir con ciertos requisitos en cuanto a tamaño, forma, limpieza y propiedades de superficie.

La selección de los agregados para su uso en la pavimentación depende de la disponibilidad, costo y calidad del material, tanto como del tipo de construcción proyectada. La conveniencia de un agregado se determina por medio de su evaluación de sus siguientes propiedades:

#### **Tamaño del agregado**

El agregado deberá ser de tamaño tan uniforme como económicamente sea práctico, de forma que el tratamiento superficial tenga una sola capa de agregado. Si hay mucha diferencia entre el tamaño de las partículas más grandes y el de las más pequeñas, la película de asfalto puede llegar a cubrir totalmente las partículas pequeñas y no conseguir el recubrimiento apropiado de las más grandes. Si esto sucede, las partículas más grandes pueden ser fácilmente barridas por el tráfico de alta velocidad. Generalmente, el tamaño más grande del agregado para un tratamiento superficial no deberá ser más de dos veces el tamaño de la partícula más pequeña, con una tolerancia razonable de tamaños gruesos y finos que permita una producción económica. El tamaño máximo del agregado utilizado también determinará la suavidad de la superficie de rodamiento. Se ha hallado que el mejor

tamaño de los agregados para conseguir esa cualidad de suavidad de superficie es el de media pulgada de diámetro.

### **Forma del agregado**

La forma de las partículas de los agregados para tratamientos superficiales es importante, siendo la ideal la forma cúbica o piramidal. Una gran cantidad de partículas planas y alargadas es indeseable, debido a que pueden quedar completamente cubiertas cuando se utiliza suficiente asfalto para sujetar las partículas cúbicas. Si todas las partículas son planas y alargadas, se necesita tan poco asfalto para sujetarlas que se hace difícil su control

### **Limpieza del agregado**

Es sumamente importante que el agregado esté limpio. Si las partículas están empolvadas o recubiertas de limo o arcilla, el asfalto no puede adherirse, ya que el

polvo produce una película que impide la adherencia entre el agregado y el asfalto.

### **Adherencia**

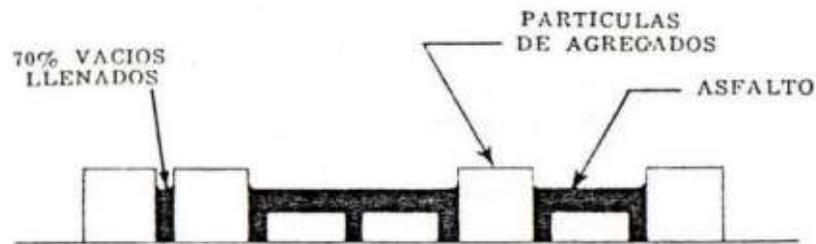
La buena adherencia entre el agregado y el asfalto y la habilidad para conservarla son esenciales para conseguir un buen tratamiento superficial. La adherencia es afectada por las diversas variables descritas en las secciones precedentes y además hay lugares en que las condiciones ideales no se pueden obtener.

Los agregados limpios pero húmedos no se adhieren tan bien como los que están limpios y secos, y la mejor adherencia se obtiene cuando están secos y calientes.

**Agregado grueso.** - Se define como agregado grueso todo material mineral que queda retenido en el tamiz N.º 8 (2.36 mm).

**Agregado fino.** - Se define como agregado fino todo material mineral que pasa el tamiz N.º 8 (2.36 mm). Puede ser natural o fabricado.

**Figura 2.9: Las partículas planas son recubiertas cuando se usa suficiente asfalto para sujetar las partículas cúbicas**



**Fuente:** Tratamientos asfálticos superficiales, MS-13, Instituto del asfalto.

**Textura Superficial.** - Al igual que la forma de las partículas, la textura superficial influye en la trabajabilidad y resistencia de las mezclas asfálticas para pavimentación. La textura superficial ha sido frecuentemente considerada más importante que la forma de las partículas del agregado. Una textura superficial rugosa, similar a la del papel de lija, opuesta a una superficie lisa, tiende a incrementar la resistencia de la mezcla y requiere un porcentaje adicional de asfalto para compensar la pérdida de trabajabilidad. Los vacíos en el agregado mineral compactado son además casi siempre mayores, lo cual provee un espacio extra para el aumento necesario de asfalto.

Las gravas naturales, tales como las del río, generalmente tienen una textura superficial, lisa y partículas de formas redondeadas. La trituración, sin embargo, produce frecuentemente una textura superficial rugosa (especialmente a lo largo de la cara fracturada) y cambia la forma de las partículas. Los agregados de superficie lisa pueden ser fácilmente recubiertos con una película de asfalto, pero la película se adherirá de modo más efectivo a las superficies rugosas.

No existe un método establecido para la medición de la textura superficial, pero, al igual que la forma de las partículas esta característica se refleja en ensayos de resistencia y de trabajabilidad de muchas mezclas asfálticas.

**Absorción.** - La porosidad de un agregado se indica comúnmente por la cantidad de líquido que absorbe cuando se lo embebe en agua. Un agregado poroso absorberá asfalto, lo cual hace que una mezcla asfáltica sea seca o menos cohesiva.

En esas mezclas debe ser incorporada una cantidad extra de asfalto para satisfacer la absorción del agregado. Los agregados muy porosos, tienden a requerir una cantidad significativa de asfalto extra para compensar el alto tenor de absorción. Los agregados altamente porosos no son normalmente usados, a menos que posean otras cualidades que los hagan ventajosos a pesar de su mayor absorción. La escoria de altos hornos y muchos agregados sintéticos o manufacturados son materiales livianos y altamente porosos. Pero su escaso peso y sus propiedades de resistencia preponderan sobre la consideración de su alta absorción para ser usados en la construcción de pavimentos.

**Afinidad con el asfalto.** - El descubrimiento de separación de la película de asfalto del agregado por acción del agua, puede hacer que un material no sea conveniente para ser usado en mezclas asfálticas de pavimentación.

Tales materiales se denominan hidrofílicos (afinidad al agua). Los agregados silíceos tales como la cuarcita y algunos granitos son ejemplos de agregados que pueden requerir atención desde el punto de vista del descubrimiento.

Los agregados que exhiben un alto grado de resistencia al descubrimiento de la película asfáltica en presencia de agua, son usualmente los más convenientes en las mezclas para pavimentación. Tales agregados se denominan hidrófobos (rechazo al agua). Las piedras calizas, dolomitas y basalto son usualmente de resistencia al descubrimiento de la película de asfalto.

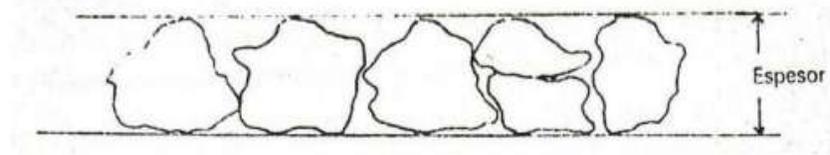
Por qué los agregados hidrófobos e hidrofílicos se comportan como lo hacen no está entendido completamente. La explicación no es tan importante como la capacidad de detectar las propiedades y evitar el uso de agregados que conducen al descubrimiento del asfalto

## **2.5 DOSIFICACIONES**

**Consideraciones Previas.** - Para determinar las cantidades de ligante asfáltico y áridos a utilizar en los tratamientos superficiales, existen diversos métodos empíricos, basados fundamentalmente en resultados y observaciones prácticos. Es conveniente tener en cuenta los siguientes datos:

- Una adecuada cantidad de cemento asfáltico en los tratamientos superficiales simples, dobles o triples, depende de factores tales como: naturaleza, granulometría y estado de la superficie donde va a ser aplicado el tratamiento, condiciones climatológicas, tipo e intensidad del tránsito
- Por lo general, los tratamientos dobles y triples se proyectan con la aplicación adicional de un riego de cemento asfáltico diluido o una emulsión asfáltica.
- Cuando un tratamiento se construye con emulsión catiónica, se deberá operar con temperatura ambiente y de la superficie del pavimento de 5 °C en ascenso. Cuando su dispone de agregados limpios y sin material flojo o suelto, se utiliza emulsión catiónica rápida. Si los áridos son sucios, con polvo suelto o adherido, no se podrá utilizar dicha emulsión. Para estos casos se recurrirá a una emulsión media o superes table. Si las características del polvo perjudicaran la adherencia, aún con este tipo de emulsiones, se impondrá efectuar una selección del tipo de ligante que más se adecue o proceder al lavado del agregado pétreo.
- En épocas de bajas temperaturas, es necesario enriquecer los riegos de las capas superiores, disminuyéndolos de las inferiores, pero conservando el tenor asfáltico total. Así para un tratamiento doble, en el primer riego se aplicará el 40% y en el segundo el 60% del ligante total. La compactación final ha de realizarse con un rodillo neumático durante las horas de mayor temperatura ambiente.
- Cuando las temperaturas ambientes sean altas, se procederá a la inversa, disminuyendo a la vez el riego adicional, que deberá ser aplicado cuando esté curado el resto. Intensificar el rodillazo neumático antes del riego adicional para evitar que las piedras se adhieran al rodillo
- Las cantidades teóricas de emulsión a usar, calculadas por cualquier método, en la práctica deberán ajustarse a las reales condiciones de cada obra.
- El espesor aproximado que se obtiene en un tratamiento es igual al de la piedra de mayor tamaño acomodada tal como cae:

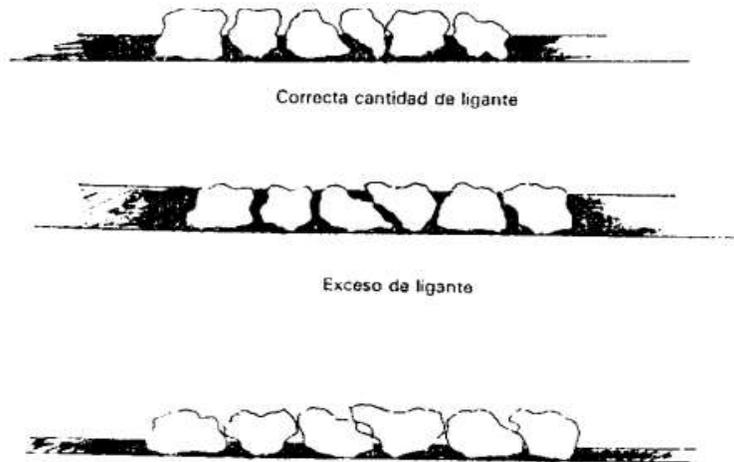
**Figura 2.10: Partícula de agregado**



**Fuente:** Tratamientos asfálticos superficiales, MS-13, Instituto del asfalto.

- Para que las piedras de un tratamiento superficial queden firmemente adheridas entre sí y la superficie de apoyo, la cantidad óptima de ligante calculada deberá cubrirla entre el 60% y 70% de la altura de la de mayor tamaño. El uso de una cantidad mayor resultará excesivo y provocará exudaciones, mientras que una cantidad menor, hará que las piedras no queden bien sujetas y se desprenderán.

**Figura 2.11: Adherencia entre partículas**



**Fuente:** Tratamientos asfálticos superficiales, MS-13, Instituto del asfalto.

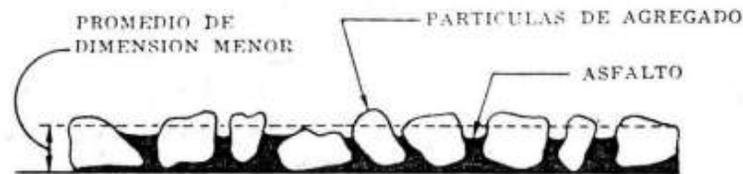
## 2.6 MÉTODO DE DISEÑO

El método de diseño que se presenta, está basado en estudios hechos por F. M. Hanson de Nueva Zelanda y modificaciones hechas por ingenieros de Estados Unidos, Canadá y Australia.

El método de Hanson se basa en los siguientes principios:

1. Cuando se deja caer un agregado de un solo tamaño por el esparcidor sobre la película asfáltica, las partículas quedan tendidas irregularmente y los vacíos entre estas son aproximadamente el 50 por ciento del volumen de la carpeta. Figura 2.14

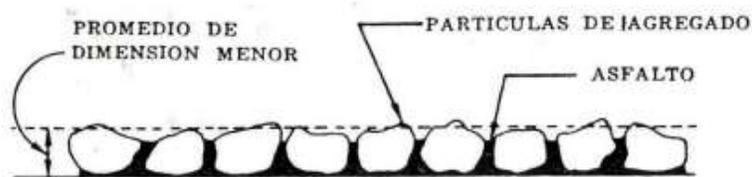
**Figura 2.12: Partículas del agregado tendidas por el espaciador, apoyadas en posición desarreglada**



**Fuente:** Tratamientos asfálticos superficiales, MS-13, Instituto del asfalto.

2. Al realizar el planchado, los agregados se acomodan y los vacíos se reducen al 30 por ciento.
3. Tras soportar el tránsito durante un tiempo, las partículas se colocan dentro de su posición más densa, tendidas en su lado más plano y los vacíos llegan a reducirse aproximadamente a un 20 por ciento. Figura

**Figura 2.13: Partículas después de haber sido asentadas por el tránsito, apoyadas sobre sus caras más planas**



**Fuente:** Tratamientos asfálticos superficiales, MS-13, Instituto del asfalto

4. Puesto que las partículas se tienden sobre su lado más plano, el espesor promedio del tratamiento superficial está determinado por el promedio de la dimensión mínima de las partículas del agregado. Hanson se refiere a esto como dimensión mínima de la partícula del agregado tendido.
5. La dimensión mínima promedio o dimensión promedio más pequeña de un material aproximadamente del mismo tamaño, puede determinarse al calibrar un numeroso grupo de partículas del agregado, usando un escantillón o cribas de muescas.

6. Tan pronto como se conozca la dimensión mínima del agregado podrá calcularse el número de metros cuadrados cubiertos por cada metro cubico de material. Por lo tanto, se podrá determinar la cantidad de agregado requerido para cada trabajo.
7. La dimensión mínima promedio del agregado también es la base para determinar la cantidad de ligante que debe usarse en un tratamiento determinado.
8. Para lograr un buen comportamiento, el ligante deberá llenar el 70 por ciento del 20 por ciento de los espacios vacíos (ver punto 3) si el volumen de tránsito es bajo. Sin embargo el ligante no deberá llenar más del 60 por ciento de vacíos si el tránsito es alto.

Al escoger el tamaño de los agregados en un proyecto, el ingeniero suele guiarse por su experiencia y preferencias. Sin embargo, no deben ignorarse ciertos factores, incluso el propósito del tratamiento superficial y la condición de la superficie de la carpeta o base.

Es bien conocido que mientras más grande sea el agregado o la variación entre los tamaños de las partículas individuales sea mayor; más intenso será el ruido que produzcan las ruedas de los vehículos. Es también probable que las partículas más grandes sean más fácilmente desprendidas del pavimento por los vehículos. El agregado fino, por otra parte, es más sensible a pequeñas variaciones del contenido de asfalto, tiende a formar acumulación de partículas finas, estando más expuesto a la ondulación bajo los efectos del tránsito. Para obtener mejores resultados, el agregado debe tener entre 12.7 y 6.3 mm. De diámetro (de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{1}{4}$  de pulgada). Generalmente, la relación de tamaño de máximo a mínimo para tratamientos superficiales, deberá ser de 2 a 1, con una razonable tolerancia de tamaños más grandes y más pequeños de partículas, tanto como lo permita la producción económica del agregado.

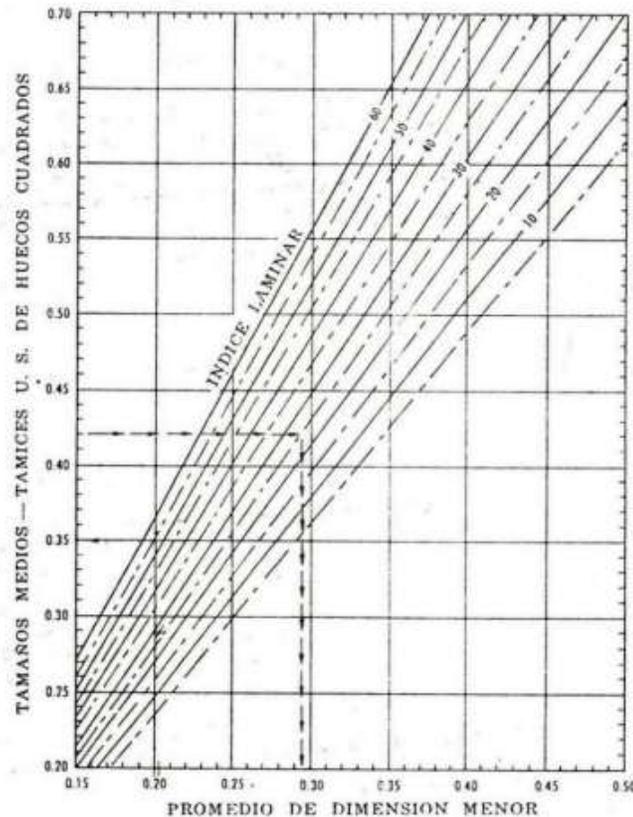
El producto asfáltico usado para un tratamiento superficial debe ser una emulsión suficientemente fluida cuando se riegue, para poder mojar el agregado y la superficie de la carpeta o de la base. Asimismo, para que después pueda desarrollar en corto tiempo la adhesividad activa y suficiente viscosidad para anclar el agregado a la temperatura ambiente de la carpeta o de la base. El asfalto, la superficie del camino y el agregado, deberán ser afines entre sí para poder resistir la acción del agua y por otra parte para resistir la acción del tránsito, el ligante no deberá volverse quebradizo.

Hay otras cualidades que son importantes, pero un asfalto que reúna estos requisitos generalmente tendrá las otras propiedades deseables.

Un método rápido para determinar la dimensión mínima promedio de un agregado empleado en un tratamiento superficial, fue desarrollado en Australia. Primero se hace un análisis granulométrico con mallas de agujeros cuadrados y el resultado será dibujado en una gráfica granulométrica. El tamaño del material que pase de 50% expresado en milímetros o pulgadas determinado en la curva, será el tamaño medio del agregado.

Cada tamaño que pase por la malla y sea retenido por las siguientes, se tomará como tamaño mínimo. Se probará entonces, partícula por partícula en una malla apropiada de muescas, con el objeto de determinar el índice laminar. El tamaño medio y el índice laminar se usan para determinar la dimensión mínima promedio.

**Figura 2.14: Carta para determinar el promedio de la dimensión menor del agregado**



**Fuente:** Tratamientos asfálticos superficiales, MS-13, Instituto del asfalto.

**Determinación del Índice Laminar del Agregado.** - El índice laminar de un agregado es el porcentaje en peso de las partículas en que la dimensión mínima (espesor) es menor que  $\frac{3}{5}$  de la dimensión media del material. Esta prueba no es aplicable a tamaños menores de  $\frac{1}{4}$  de pulgada (6.3 mm).

La cantidad de agregado que será tomada para hacer la prueba será tal, que esta pueda suministrar 100 piezas como mínimo de la fracción que debe ser probada.

Para esta prueba se hace uso de un escantillón, el cual tienen dimensiones especificadas.

La cantidad que pasa por el escantillón, deberá ser pesada con una aproximación mínima de 0.1 % del peso de la muestra ensayada.

Finalmente, el índice laminar es el peso total del material que pasó por varios escantillones o mallas, expresado como porcentaje del total del peso de la muestra analizada

**Factor de Tráfico.** - El volumen del tráfico, es una variable que debe considerarse, cuando se determina la cantidad de asfalto necesario para el tratamiento superficial. A menos que se hagan ajustes en la cantidad de asfalto, para el tráfico esperado, se puede presentar un afloramiento del asfalto si hay demasiado tráfico, y en cambio sí hay poco tráfico, puede que los vacíos no se llenen suficientemente.

Los estudios han demostrado que el porcentaje de vacíos llenados con asfalto deberá estar cerca de los valores indicados en la tabla 2.9. Estos factores de tráfico de la mencionada tabla son porcentajes expresados en forma decimal.

**Tabla 2.10: Factores de tráfico para tratamientos superficiales**

| Agregado  | Factor de tráfico= porcentaje (expresado en forma decimal)<br>del 20% de los vacíos del agregado a ser llenados de asfalto |           |            |                |                   |
|---|--|-----------|------------|----------------|-------------------|
|   | Tráfico-Vehicular por día  |           |            |                |                   |
|   | Debajo de<br>100   | 100 a 500 | 500 a 1000 | 1000 a<br>2000 | Encima de<br>2000 |
| <b>Agregado<br/>de buena<br/>calidad</b>  | 0,85   | 0,75      | 0,7        | 0,65           | 0,5               |
| <b>Notas</b>  |  |           |            |                |                   |
| <p>(1) Los factores anteriores no toman en cuenta la absorción de la superficie de la carretera o del agregado</p> <p>(2) Los valores de la tabla se han tomado del trabajo de Norman W. Mc leod “Do’s and don’ts of seal coating” presentado en la conferencia del ARBA, en Tennessee, septiembre de 1963.</p> |  |           |            |                |                   |

**Fuente:** Tratamientos asfálticos superficiales, MS-13, Instituto del asfalto.

A continuación, se presentan los siguientes métodos de dosificación de los áridos y cemento asfáltico residual para los tratamientos simples y múltiples:

### 2.6.1 Método práctico

Permite dosificar en primer lugar los áridos, y en segundo lugar el ligante asfáltico.

- a) **Áridos.** - Se utiliza una tela o un tablero de madera de 1m<sup>2</sup>, cuya superficie se cubre normalmente con el árido de mayor tamaño (primer riego), sin que haya superposición de piedras. Luego se recoge el total del árido distribuido y se mide su volumen. Se obtendrá así el dosaje, en 1/m<sup>2</sup>, de piedra para el primer riego.

Se efectuarán varias determinadas (2 o 3) para obtener un promedio, al cual se le sumará del 5 al 10% para compensar pérdidas en obra. Esta será la cantidad real a usar en un tratamiento simple.

Se acomodan las piedras manualmente en los huecos dejados por la primera capa, sin que se sobresalgan por sobre ella. Luego de 2 o 3 determinaciones el litarge total promedio de piedras a usar, al cual se le adicionará siempre del 5 a 10% de este volumen.

En forma idéntica, se produce con un tercer agregado, en este caso de un tratamiento triple.

## **2.6.2 Métodos empíricos de cálculo**

Para determinar las cantidades de áridos y ligante en cada tipo de tratamiento, existen diversas fórmulas empíricas, producto de la observación y de resultados prácticos.

Su aplicación no siempre resulta posible debido a los numerosos parámetros que es necesario tener en cuenta y a los cuales debe asignarse valores que dependen de características tales como estado de los materiales, condiciones superficiales, ambientales y de tránsito. Como resultado de esto, las dosificaciones obtenidas no son inequívocas, estando así sujetas a muchas objeciones.

Se encuentran en este grupo, entre otras, las técnicas del centro de investigaciones de carreteras de Bélgica, la regla del décimo o de Linckenheyl, la técnica de Mc Leod, y la técnica del 9-5-3, originada en los trabajos del Ing. Tagle, en la dirección nacional de Vialidad.

Para los casos de tratamientos múltiples, se considera a cada capa como si fuera un tratamiento simple a los efectos de la dosificación. Una vez que ha surgido el dosaje de emulación asfáltica para cada capa, se obtiene el total por simple suma de los de los parciales. Para un tratamiento doble realizado en clima cálido, este total se desdobra en: 60% para el primer riego y 40% para el segundo: en el caso de un tratamiento triple corresponde, según Mc Leod, 30% en el primer riego, 40% en el segundo y 30% en el tercero.

### **2.6.2.1 Método del centro de investigación de carreteras de Bélgica**

Cálculo del volumen de áridos necesarios para cubrir cada m<sup>2</sup>:

$$Q = A - \frac{A^2}{100} + R$$

**Donde:**

Q= Cantidad de áridos, en Ltrs/m<sup>2</sup>

A= Tamaño medio del árido, en mm

R= Parámetro que representa las pérdidas posibles, depende de A, en la siguiente forma

R= 1.00 Ltrs/m<sup>2</sup> para A = 5 mm

R= 1.50 Ltrs/m<sup>2</sup> para A= 20 mm

En este método la dosificación del ligante L viene expresado por la fórmula:

$$L = a + b * Q$$

**Donde:**

L= Cantidad de ligante, en Ltrs/m<sup>2</sup>

a= Parámetro que depende del estado y textura de la base, a saber:

a = 0.00 en bases exudadas

a = 0.34 en bases normales

a= 0.59 en bases porosas, secas o fisuradas

b= Parámetro que depende del tipo y forma de los áridos, variando desde 0.07 para áridos artificiales hasta 0.09 para áridos naturales

Q= Cantidad de áridos, en Ltrs/m<sup>2</sup>

La cantidad de ligante, deberá corregirse por la influencia de factores locales de acuerdo al caudal del tránsito (alto o bajo) se corregirá entre -5 y el +12 %, y por condiciones climáticas se aplicará desde -5 hasta + 5 %

Las cantidades de ligante calculadas, en todos los casos, están referidos al betún o cemento asfáltico. Cuando se utiliza emulsiones bituminosa p asfalto diluido, se calcularán las cantidades equivalentes, teniendo en cuenta para ello los contenidos en cemento asfáltico residual de cada uno.

### 2.6.2.2 Método de Linckenhey o Regla del Décimo

En este método también se utiliza el tamaño medio del árido, A

En condiciones normales y para un tamaño medio del árido superior del árido superior a 10 mm, el volumen necesario del árido (Q) será:

$$Q = 0.9 * A$$

Y si el tamaño medio es menor que 10 mm, entonces:

$$Q = 3 + 0.7 * A$$

La cantidad del ligante está dada por:

$$L = 0.10 * Q$$

#### **Donde:**

L= Cantidad de ligante (Ltrs / m<sup>2</sup>)

Q= Cantidad de áridos (Ltrs / m<sup>2</sup>)

Las normas españolas admiten que, en la Regla del décimo la cantidad de árido necesaria. Incluidas las pérdidas es

$$Q = 1.01 * A$$

La dosificación de ligante se obtiene aceptando que 1 kg/m<sup>2</sup> de betún es capaz de retener entre 10 – 12 Ltrs/m<sup>2</sup> de árido.

En general se admite que la cantidad en volumen de asfalto es igual a la cantidad en volúmenes de árido dividido entre 10, aproximadamente; esto se cumple más ajustadamente en el caso de tratamientos dobles y triples. SI se considera un tratamiento doble y clima cálido, se aplicará un 60 % de ligante en la primera capa y el 40 % en la segunda.

En clima frío a la inversa, en caso de tratamiento triple, las proporciones por capas son: 40 Y 30 % respectivamente, siempre que el primer riego no supere 1.20 a 1.40 Ltrs/m<sup>2</sup> para evitar el escurrimiento.

### 2.6.2.3 Método de Mc Leod

Este método define el procedimiento a emplear para la dosificación de tratamientos superficiales consistentes en aplicaciones consecutivas de ligante asfáltico y agregado pétreo. Los tratamientos superficiales pueden ser de tipo simple, doble o triple. Este método puede ser aplicado también a la dosificación de sellos de agregados.

Este método se basa en el procedimiento de la “Dimensión Mínima Promedio”, desarrollada en Australia por Hanson y modificado posteriormente por Mc Leod.

#### Parámetros de asfalto

Se debe determinar el porcentaje de residuo asfáltico (R) del ligante que es el asfalto diluido normalmente.

#### Parámetros del agregado

- a) Granulometría; la granulometría se determina de acuerdo con el ASTM C-136
- b) Tamaño medio del agregado; el tamaño medio corresponde (TM) corresponde a la abertura (mm) del tamiz teórico por el cual pasa el 50% del agregado. Se obtiene en forma analítica a partir de la granulometría mediante interpolación.
- c) Forma de partículas; este parámetro influye en la dimensión mínima promedio de las partículas. Para los tratamientos superficiales se recomienda que las partículas sean de preferencia cúbicas. Esta condición se evalúa mediante el ensayo de índice de lajas.
- d) Dimensión mínima promedio (H), corresponde al promedio de la dimensión mínima de todas las partículas que componen el agregado, se determina mediante la siguiente ecuación.

$$H (mm) = \frac{TM}{1,09 + (0,0118 * IL)} \quad (1)$$

#### Donde:

H= Dimensión mínima promedio

TM= Tamaño medio del agregado

IL= Índice de lajas (%)

- e) Densidades; se debe determinar el peso específico suelto y peso específico bruto del agregado
- Contenido de vacío; se debe determinar el contenido de vacíos (V) del agregado de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V = 1 - \frac{W}{G} \quad (2)$$

**Donde:**

V= Contenido de huecos, expresado en forma decimal.

W= Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)

G= Peso específico bruto (kg/m<sup>3</sup>)

**Parámetros de diseño del tratamiento**

Los siguientes parámetros de dosificación, se deben determinar en función de las características del proyecto:

- a) Factor de desperdicio (E). Este factor es una corrección para tomar en cuenta las pérdidas de agregado que se produce durante la construcción. Depende del tipo y estado del equilibrio mecánico utilizando y los procedimientos usados. A falta de un valor de registro histórico, se pueden usar los valores mostrados en la tabla siguiente

**Tabla 2.11: Factores de desperdicio o desgaste del agregado**

| <b>H<br/>(mm)</b> | <b>Desperdicio<br/>%</b> | <b>Factor de desperdicio<br/>(E)</b> |
|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| < 6,5             | 5                        | 1,05                                 |
| 6,5 – 8,0         | 4                        | 1,04                                 |
| 8,1 – 9,5         | 3                        | 1,03                                 |
| > 9,5             | 2                        | 1,02                                 |

**Fuente:** Manual de la ABC.

- b) Factor de tránsito (T). Este factor permite incorporar en la dosificación el efecto del tránsito en el embebido del agregado, se obtiene de la tabla siguiente:

**Tabla 2.12: Factor de tráfico**

| <b>Vehículos/día</b> | <b>T: Factor de tránsito</b> |
|----------------------|------------------------------|
| Menos de 100         | 0,85                         |
| 100 a 500            | 0,75                         |
| 500 a 1000           | 0,70                         |
| 1000 a 2000          | 0,65                         |
| Más de 2000          | 0,60                         |

**Fuente:** Tratamientos asfálticos superficiales, MS-13, Instituto del asfalto.

- c) Textura superficial (S). Este parámetro toma en cuenta la cantidad de ligante asfáltico que es absorbido por la superficie de la base o pavimento asfáltico. Normalmente en tratamientos superficiales sobre bases imprimadas no se realiza esta corrección. La definición de la textura superficial es subjetiva y no existe ensayos que permitan medir la corrección necesaria.

**Tabla 2.13: Factores por corrección de textura**

| <b>Textura</b>                                | <b>Valores de S en 1/m<sup>2</sup></b> |
|---|--|
| Asfalto aflorado en la superficie             | 0,04-0,27                              |
| Superficie lisa no porosa                     | 0,00                                   |
| Superficie ligeramente porosa y algo oxidada  | +0,13                                  |
| Superficie porosa, oxidada con algunos huecos | +0,27                                  |
| Superficie porosa, oxidada y muy disgregada   | +0,40                                  |

**Fuente:** Tratamientos asfálticos superficiales, MS-13, Instituto del asfalto

- d) Absorción del agregado (A). Este factor compensa la disminución en la dosis de ligante que provoca la absorción del agregado. Normalmente este factor se desprecia para la mayoría de los agregados.

### **Cálculos**

- Dosis de agregado para tratamientos simple. Se calcula la dosis de agregado en kg/m<sup>2</sup>, de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$C = M((1 - 0,4 * V) * H * G * E)$$

#### **Donde:**

C= Dosis de agregado (kg/m<sup>2</sup>)

M= Factor de corrección que debe ser evaluado por la experiencia del diseñador en base al clima y tránsito. Su valor normal es 1 sin embargo el Asphalt Institute propone modificarlo sin experiencia local, un valor de 0.9 ha dado buenos resultados, no obstante, lo anterior, se podrá utilizar factores de ajuste intermedios entre 0,9 y 1

V= Vacíos en el agregado ver ecuación (1)

H= Dimensión mínima promedio (mm) ver ecuación (2)

G= Peso específico bruto

E= Factor de desperdicio ver tabla 2.11

- Dosis de ligante para tratamientos simple. Determine la dosis de ligante, en l/m<sup>2</sup>, de acuerdo a la siguiente ecuación

$$B = K * \left( \frac{0,40 * H * T + S + A}{R} \right)$$

#### **Donde:**

B= Dosis de ligante (l/m<sup>2</sup>)

K= Factor de corrección que debe ser evaluado en base al clima y tránsito por la experiencia del diseñador. Su valor normal es 1 pero puede ser mayor o menor según el diseñador. En climas tropicales se aplica 0,9 mientras que en climas muy fríos usa 1.2 se podrá utilizar valores intermedios entre los extremos indicados dependiendo del clima de la región donde se ejecute la obra.

H= Dimensión mínima promedio (mm)

T= Factor de tránsito

V= Vacíos en el agregado (decimal)

## **2.7 MÉTODO MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLAS**

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas asfálticas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del departamento de autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de mm. (1") o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos de 38mm. (1.5"), y está pensado para el diseño en laboratorios y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con una gradación densa/ debido a que la prueba de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64mm. (2 ½") de alto y 102 mm. (4") de diámetro; se preparan mediante un procedimiento para calentar y combinar y compactar mezclas de asfalto-agregado (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método Marshall son densidad-análisis de vacíos y prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados; cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos.

### **2.7.1 Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas.**

El método Marshall se elaboran tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

### **2.7.2 Determinación de la gravedad específica.**

La prueba de gravedad específica puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado en un cuarto de temperatura. Esta prueba se hace de acuerdo a la norma ASTM D1188, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas utilizando parafina; o la ASTM D2726, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas mediante superficies saturadas de especímenes secos.

Para determinar cuál norma se debe utilizar, se realizan pruebas de absorción a la

mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se recurre a la norma ASTM D1188; en caso contrario, se emplea la norma ASTM D2726

### **2.7.3 Prueba de estabilidad y flujo**

Después de la gravedad especificada se ha determinado, se procede a prueba de estabilidad de flujo, consiste en sumergir el espécimen en un baño maría a 60 °C de 30 a 40 minutos antes de la prueba.

Con el equipo de prueba listo se remueve el espécimen colocado en el baño María y cuidadosamente se seca la superficie. Ubicando y centrado el espécimen en la mordaza inferior, se coloca la mordaza superior y se centra completamente en el aparato de carga. Posteriormente, se aplica la carga de prueba al espécimen a una deformación constante de 51 mm. (5") por minuto, hasta la falla. El punto de falla se define por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse como el valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba de estabilidad está el proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático, se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía cuando la carga empiece a disminuir se deberá tomar la lectura, y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial, expresado en unidades de 0.25mm. (1/100"), será el valor del flujo Marshall.

### **2.7.4 Análisis de densidad y vacíos**

Después de completar las pruebas de estabilidad y flujo, se llevará a cabo el análisis de densidad y vacíos para cada serie de especímenes de prueba.

Se debe determinar la gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente los que estén cerca del contenido óptimo de asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado, se calcula de estos valores.

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado, así como el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA), y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

### **2.7.5 Parámetros volumétricos**

Un factor que debe de ser tomado en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica, es el de las proporciones volumétricas del asfalto y de los componentes del agregado; o más simplemente, parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica. Este capítulo describe el análisis volumétrico de HMA, el cual juega un rol significativo en muchos procedimientos de diseño de mezclas.

Las propiedades volumétricas de una mezcla de pavimento compactado vacíos de aire (Va); vacíos de agregado mineral (VAM); vacíos llenados con asfalto (VFA); y contenido de asfalto efectivo (Pbe) proporcionan una indicación del probable funcionamiento de la mezcla asfáltica. Es necesario entender las decisiones y los procedimientos analíticos descritos en este capítulo, para tomar decisiones concernientes a la selección del diseño de mezclas asfálticas. La información aplica tanto a mezclas elaboradas en laboratorio, como a extracción de núcleos en el campo.

#### **Definiciones**

El agregado mineral es poroso, se puede absorber agua y asfalto a un grado variable. Además, el cociente de absorción entre agua y el asfalto varío con cada agregado. Los tres métodos para medir gravedad especifican del agregado toman éstas variaciones en consideración. Estos métodos son, la gravedad específica neta, aparente, y la efectiva.

**Gravedad específica neta, Gsb.** - Proporción de la masa al aire de una unidad de volumen de un material permeable (incluyendo vacíos permeables e impermeables del material) a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada a una temperatura indicada.

**Gravedad específica aparente, Gsa.** - Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material impermeable a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada a una temperatura indicada

**Gravedad específica efectiva, Gse.**- Proporción de la masa en aire de una unidad de

volumen de un material permeable (excluyendo vacíos permeables de asfalto) a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada a una temperatura indicada.

**Vacíos en el agregado mineral, VAM.** - Volumen de espacio vacío irregular entre partículas del agregado de una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra.

**Contenido de asfalto efectivo, Pbe.** - Contenido de asfalto total de una mezcla asfáltica, menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado.

**Vacíos de aire, Va.** - Volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactado, expresado como porcentaje del volumen neto de la mezcla del pavimento compactado.

**Vacíos llenados con asfalto, VFA.** - Proporción del porcentaje del volumen de espacio vacío irregular entre las partículas del agregado que es ocupado por el asfalto efectivo.

Se expresa como la proporción de  $(VAM - Va)$  entre VAM

El procedimiento de diseño de mezclas, se calcula los valores de VAM para las mezclas de pavimento en términos de la gravedad específica neta de los agregados, Gsb.

## 2.8 VISCOSIDAD

(SILENE GONZALES). La viscosidad es el grado de fluidez de un asfalto a la temperatura que se emplea durante su aplicación.

(JHON M. GRIFFITH). La viscosidad es la propiedad de un fluido de resistir al flujo. El fenómeno es una propiedad característica en los líquidos, que se mide en unidades absolutas llamadas poises o por otros medios. Suele emplearse frecuentemente el término fluidez para designar la inversa de la viscosidad. Cuando más viscoso es un asfalto, menor es su fluidez.

(DIXON). La viscosidad es una medida de su resistencia a fluir. Describe la fricción interna de un fluido en movimiento. Los fluidos viscosos resisten el movimiento porque su composición molecular crea mucha fricción interna. Los fluidos con baja viscosidad

fluyen fácilmente porque su composición molecular crea poca fricción cuando están en movimiento.

(MARDONES LUCAS). La viscosidad de un asfalto es la propiedad física que caracteriza la resistencia para ciertos líquidos, donde la viscosidad es constante y solo depende de la temperatura y presión.

(CARMONA GRISELDA). La viscosidad-temperatura es muy variable dependiendo de la constitución de cada betún. La susceptibilidad de un producto bituminoso indica la sensibilidad que presenta a variar su viscosidad por elevación de la temperatura.

(PADILLA). La viscosidad se considera una medida de la resistencia de un fluido a los intentos de moverse a través de él. Por lo tanto, un fluido con una adherencia baja se dice que es “líquido”, mientras que un fluido con una alta adherencia se dice que es “espeso”. En consecuencia, es mucho más fácil moverse a través de un fluido de baja adherencia, como el caso del agua, que hacerlo en un fluido de alta adherencia como la de asfalto.

## CAPÍTULO III

### APLICACIÓN DE LA PRÁCTICA

#### 3.1 PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS PETREOS.

Los materiales que se utilizarán deben cumplir especificaciones técnicas bajo las normativas vigentes para toda Bolivia, como ser: El manual de especificaciones técnicas de construcción, de carreteras volumen 7 de la Administradora Boliviana de Carreteras. Los agregados pétreos, están situados en el departamento de Tarija en las infraestructuras de la alcaldía municipal, donde se encuentra ubicada la planta de asfaltos. Estos agregados pétreos se utilizarán para la realización de tratamientos asfálticos superficiales, del presente proyecto de grado de investigación.

**Imagen 3.1: Acopio de agregados en la alcaldía**



**Fuente:** Elaboración propia.

##### 3.1.1 Muestreo

Los resultados del análisis granulométrico de un agregado deberán reflejar por supuesto, las características de tamaño de todo el material del cual se obtuvo la muestra. El examen o ensayo se refiere solo a la muestra en sí y no a la partida o pila de almacenamiento a menos que la muestra sea representativa del total del material.

Se debe tener un gran cuidado para obtener muestras totalmente representativas de una pila de almacenamiento de arena o de ripio. Se deben tomar muestras separadas a distintos niveles y localizaciones en la pila. Si se desea tomar muestra de un apila de arena

normalmente es necesario remover la capa seca donde ocurre la segregación y tomarla del material húmedo interior a dicha capa.

El manual de la ABC nos indica que se debe realizar el procedimiento para el muestreo mediante el método AASHTO T-2.

### **3.2 PROCEDENCIA CEMENTO ASFALTICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

El cemento asfáltico que se utilizó fue BETUNEL 85 - 100 de procedencia brasileña, proporcionado por el Gobierno Autónomo de Tarija. Ya que este cemento asfáltico es el que se está utilizando en nuestro medio por empresas tanto privadas como públicas.

**Imagen 3.2: Ubicación de la planta GAMT**



**Fuente:** Google Earth.

### **3.3 TRABAJO DE LABORATORIO PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO**

El cemento asfáltico es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

El cemento asfáltico convencional que se emplea en el diseño y posterior conformación del tratamiento superficial triple, tiene la siguiente información técnica:

**Tabla 3.14: Características del cemento asfáltico**

|                  |                             |
|------------------|-----------------------------|
| <b>Origen:</b>   | Brasil                      |
| <b>Marca:</b>    | Betunel                     |
| <b>Producto:</b> | Cemento Asfáltico CA 85-100 |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.15: Ensayos del cemento asfáltico**

| Ensayo                                   | Unidad            | Resultado | Especificaciones |              |
|--|-------------------|-----------|------------------|--------------|
|  |                   |           | Mínimo           | Máximo       |
| Peso específico del cemento asfáltico    | g/cm <sup>3</sup> | 1,030     | <b>1</b>         | <b>1,050</b> |
| Penetración a 25 °C, 100 gr, 5 seg       | 0,1 mm            | 89,70     | <b>85</b>        | <b>100</b>   |
| Película delgada en horno a 163°C, 5 hrs | %                 | 0,391     | -                | <b>1,0</b>   |
| Ductilidad a 25 °C                       | cm                | 111,67    | <b>100</b>       | -            |
| Viscosidad Saybolt Furol a 135°C         | seg               | 131,00    | <b>85</b>        | -            |
| Punto de ablandamiento                   | °C                | 44,40     | <b>43</b>        | <b>53</b>    |
| Punto de inflamación                     | °C                | 295,00    | <b>232</b>       | -            |

**Fuente:** Elaboración propia.

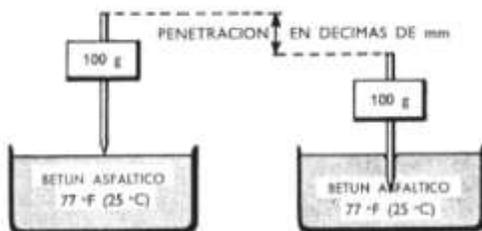
El cemento asfáltico cumple con: REQUISITOS PARA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA CEMENTO ASFÁLTICO – AASHTO M 20, según lo requerido en las especificaciones técnicas del manual boliviano de la ABC.

### 3.3.1 Penetración

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un cemento asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra 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 mitad de la penetración se hace a 25 °C, que la aguja está cargada con 100 gr. Y que la carga se aplica durante 5 segundos.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en el manual de la ABC donde nos indica realizar esta prueba mediante el método AASHTO T - 49

**Figura 3.15: Ensayo de penetración**



**Fuente:** Principio de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente, MS-22

**Tabla 3.16: Ensayo de penetración**

|                                | <b>Prueba 1</b> | <b>Prueba 2</b> | <b>Prueba 3</b> |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                                | 93              | 88              | 93              |
|                                | 90              | 85              | 89              |
|                                | 91              | 87              | 90              |
| <b>Promedio</b>                | <b>92</b>       | <b>87</b>       | <b>91</b>       |
| <b>Penetración (0.1mm) =</b>   | <b>89,7</b>     |                 |                 |
| <b>Especificación técnica=</b> | <b>85-100</b>   |                 |                 |

**Fuente:** Elaboración propia.

### Imagen 3.3: Ensayo de penetración



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 3.3.2 Viscosidad Saybolt Furol.

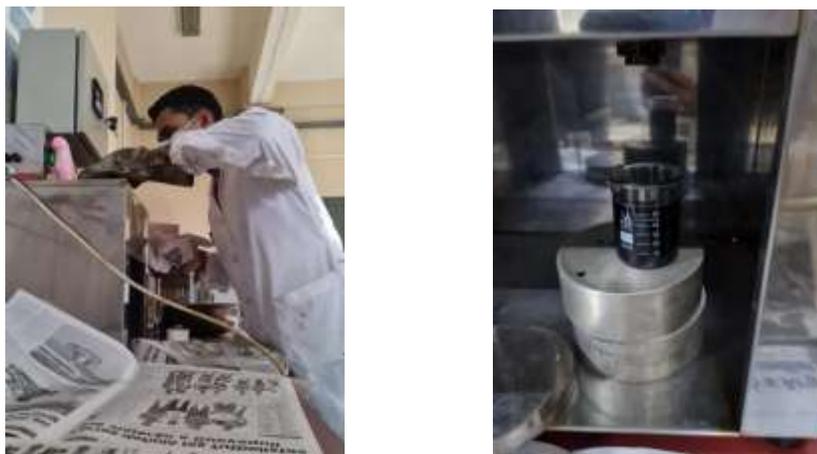
La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación. La viscosidad o consistencia del cemento asfáltico se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol. El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en el manual de la ABC el cual nos indica hacerlo por el método AASHTO T - 72

**Tabla 3.17: Ensayo de viscosidad Saybolt Furol**

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| <b>Resultado (seg)=</b>        | <b>131</b>           |
| <b>Especificación técnica=</b> | <b>Mínimo 85 sFS</b> |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.4: Ensayo de viscosidad Saybolt Furol**



**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.3.3 Ensayo de película delgada en horno (TFP)**

Es un procedimiento el cual expone una muestra de asfalto a unas condiciones que aproximan a las ocurridas durante las operaciones que se realizan en plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración, efectuados sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de TFO o RTFO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado del material, durante la construcción y durante su servicio. Para realizar el procedimiento de este ensayo el manual de la ABC indica realizarlo por el método AASHTO T - 179

**Tabla 3.18: Ensayo de la película delgada**

|                                | <b>% Pérdida de masa</b> |
|--------------------------------|--------------------------|
| <b>Resultado =</b>             | <b>0,391</b>             |
| <b>Especificación técnica=</b> | <b>≤ 1 %</b>             |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.5: Ensayo de película delgada**



**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.3.4 Ductilidad**

La ductilidad es una característica de los cementos asfálticos importante en muchas aplicaciones. La presencia o ausencia de ductilidad, sin embargo, tiene usualmente mayor importancia que el grado de ductilidad existente. Los cementos asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los cementos asfálticos 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

El procedimiento para la realización de este ensayo se lo realizare de acuerdo al manual de la ABC el cual nos detalla usar el método AASHTO T – 51.

**Tabla 3.19: Ensayo de ductilidad**

|                                     | <b>Resultado</b> |
|-------------------------------------|------------------|
| <b>Lectura final de ensayo (cm)</b> | <b>111,67</b>    |
| <b>Especificación técnica=</b>      | $\geq 100$ cm    |

**Fuente:** Elaboración propio.

**Imagen 3.6: Ensayo de ductilidad**



**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.3.5 Peso específico**

El peso específico es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada. Por ejemplo, una sustancia con un peso específico de 1.6 pesa 1.6 veces más que el agua.

El peso específico de un cemento asfáltico no se indica, normalmente, en los especificadores de la obra. De todas maneras, hay dos razones importantes por las cuales se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico utilizado:

- El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas. Entonces será importante conocer el peso específico ya que nos darán un patrón para efectuar correcciones de temperatura-volumen.
- El peso específico es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos.

El procedimiento para la realización mediante lo que nos especifica el manual de la ABC el cual nos indica realizar el ensayo mediante el método AASHTO T – 228.

**Tabla 3.20: Ensayo de peso específico**

|  | <b>Resultado</b> |
|--|------------------|
| <b>Peso específico C.A. (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>1,030</b>     |
| <b>Especificación técnica=</b>                 | 1,00-1,05        |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.7: Ensayo de peso específico**



**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.3.6 Punto de ablandamiento**

La muestra es fundida y colocada en un molde, que consta de un anillo de latón. El anillo es mantenido suspendido en un baño de etilenglicol, a una temperatura de 5 °C por minuto y sobre este es colocada una bola de acero patrón. El conjunto es calentado a una velocidad de calentamiento de 5 °C por minuto, consiguiendo que la muestra se ablande dentro del anillo y ceda al peso de la bola, hasta tocar una placa de referencia, colocada a una distancia de 1'' del anillo.

El punto de ablandamiento (anillo y bola) es la temperatura leída en el termómetro mantenido en el baño, en el momento en que la esfera toca la placa metálica.

El objetivo del ensayo es medir la temperatura del asfalto, en el momento en que éste adquiere la consistencia, la que aproximadamente corresponde al punto de fusión.

El manual de la ABC nos indica utilizar el método AASHTO T- 95 para realizar el ensayo.

**Tabla 3.21: Ensayo de punto de ablandamiento**

|                                    | <b>Resultado</b> |
|------------------------------------|------------------|
| <b>Punto de ablandamiento °C =</b> | <b>44,40</b>     |
| <b>Especificación técnica =</b>    | <b>43-53</b>     |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.8: Ensayo de punto de ablandamiento**



**Fuente:** Elaboracion propia.

### **3.3.7 Ensayo punto de inflamación**

Llene la copa a una temperatura conveniente, no excediendo 100°C por encima de lo esperado para el Punto de Ablandamiento; de esa manera la parte superior del menisco está en la línea de llenado. Para ayudar en esta operación use un medidor del nivel de llenado.

Si un exceso de muestra se ha agregado a la copa, quítelo usando una pipeta u otro aparato adecuado.

Informe el Punto de Inflamación como la temperatura leída en el termómetro, cuando aparece el destello en cualquier punto de la superficie del material, pero no confunda el verdadero destello con el halo azulado que algunas veces circunda la llama de prueba.

El objetivo de esta prueba es la determinación de los Puntos de Inflamación y Combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, Excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de 79°C determinado por medio de este método de ensaye.

El manual de la ABC nos indica realizar dicho ensayo por el método AASHTO T- 79.

**Tabla 3.22: Ensayo de punto de inflamación**

|                                  | <b>Resultado</b> |
|----------------------------------|------------------|
| <b>Punto de inflamación °C =</b> | <b>295</b>       |
| <b>Especificación técnica=</b>   | <b>≥ 232</b>     |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.9: Ensayo de punto de inflamación**



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4 TRABAJO DE LABORATORIO PARA EL ASFALTO DILUIDO

Son materiales constituidos por mezclas de cemento asfáltico y solventes derivados de petróleo (bencina, kerosene, aceite) con el propósito de dar al asfalto la viscosidad necesaria para poderlo mezclar y trabajar con los áridos o baja temperatura.

Para realizar los ensayos de caracterización del asfalto diluido MC-70 y MC-800 se utilizará los siguientes productos:

**Cemento Asfáltico CA 85-100: Betunel**

**Solvente: Kerosene**

A continuación, se presenta una planilla resumen de las características de los asfaltos diluidos, según los ensayos realizados.

**Tabla 3.23: Ensayos del asfalto diluido**

| Ensayo                      | Unidad | Resultado | Especificaciones |        |
|-----------------------------|--------|-----------|------------------|--------|
|                             |        |           | Mínimo           | Máximo |
| Destilación MC-800          | %      | 17        | -                | 35     |
| Destilación MC-70           | %      | 37        | 20               | 60     |
| Punto de inflamación MC-800 | °C     | 87        | 66               | -      |
| Punto de inflamación MC-70  | °C     | 40        | 38               | -      |
| Viscosidad MC-800 a 82,2 °C | seg    | 183       | 100              | 200    |
| Viscosidad MC-70 a 50 °C    | seg    | 69        | 60               | 120    |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.24: Ensayos del residuo asfáltico de los asfaltos diluidos**

| Ensayo                                       | Unidad | Resultado | Especificaciones |            |
|--|--------|-----------|------------------|------------|
|  |        |           | Mínimo           | Máximo     |
| Penetración MC-800 a 25 °C,<br>100 gr, 5 seg | 0,1 mm | 135       | <b>120</b>       | <b>250</b> |
| Penetración MC-70 a 25 °C,<br>100 gr, 5 seg  | 0,1 mm | 221       | <b>120</b>       | <b>250</b> |
| Ductilidad MC-800 a 25 °C                    | cm     | 103       | <b>100</b>       | -          |
| Ductilidad MC-70 a 25 °C                     | cm     | 101       | <b>100</b>       | -          |
| Adherencia MC-800                            | %      | 98        | -                | -          |
| Adherencia MC-70                             | %      | 94        | -                | -          |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.1 Ensayo de destilación asfalto diluido MC-800, MC-70

EL manual boliviano de la ABC no indica que la prueba de la destilación se la debe realizar por el método AASHTO T78-96. A partir del ensayo de destilación se separan el cemento asfáltico y el diluyente para determinar su proporción e identificación.

El ensayo de destilación fraccionada consiste en calentar escalonadamente el asfalto líquido, separando las distintas fracciones volátiles del fluidificante, comprobando si el fluidificante está en la proporción y condiciones adecuadas y si el betún residual puede ya ser sometido a otros ensayos.

**Tabla 3.25: Ensayo de destilación del asfalto diluido**

|                                  | Resultado    |             |
|----------------------------------|--------------|-------------|
|                                  | MC-800       | MC-70       |
| <b>Lectura final de ensayo %</b> | <b>18</b>    | <b>37</b>   |
| <b>Especificación técnica=</b>   | $\leq 35 \%$ | 20 % - 60 % |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.2 Ensayo de punto de inflamación MC-800, MC-70

El manual de la ABC nos indica realizar el ensayo del punto de inflamación mediante el método AASHTO T 49-96

**Tabla 3.26: Ensayo de punto de inflamación del asfalto diluido**

|                                     | Resultado           |                     |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                                     | MC-800              | MC-70               |
| <b>Lectura final de ensayo (°C)</b> | <b>87</b>           | <b>40</b>           |
| <b>Especificación técnica=</b>      | $\geq 66\text{ °C}$ | $\geq 38\text{ °C}$ |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.3 Ensayo de viscosidad MC-800, MC-70

El manual de la ABC nos indica realizar el ensayo de la viscosidad mediante el método AASHTO T 72

**Tabla 3.27: Ensayo de viscosidad del asfalto diluido**

|                                      | Resultado     |              |
|--------------------------------------|---------------|--------------|
|                                      | MC-800        | MC-70        |
| <b>Lectura final de ensayo (seg)</b> | <b>183</b>    | <b>69</b>    |
| <b>Especificación técnica=</b>       | 100 – 200 seg | 60 - 120 seg |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.4 Ensayo de penetración del residuo asfáltico MC-800

El manual de la ABC nos señala que este ensayo se realiza con el porcentaje de residuo de la destilación del asfalto diluido MC-800, donde nos indica realizar la penetración por el método AASHTO T 49

**Tabla 3.28: Ensayos de penetración del residuo asfáltico MC-800**

|                                | Prueba 1   | Prueba 2 | Prueba 3 |
|--------------------------------|------------|----------|----------|
| <b>Promedio</b>                | 134        | 136      | 134      |
| <b>Penetración (0.1mm) =</b>   | <b>135</b> |          |          |
| <b>Especificación técnica=</b> | 120 - 250  |          |          |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.5 Ensayo de penetración del residuo asfáltico MC-70

El manual de la ABC nos señala que este ensayo se realiza con el porcentaje de residuo de la destilación del asfalto diluido MC-70, donde nos indica realizar la penetración por el método AASHTO T 49

**Tabla 3.29: Ensayos de penetración del residuo asfáltico MC-70**

|                                | <b>Prueba 1</b> | <b>Prueba 2</b> | <b>Prueba 3</b> |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <b>Promedio</b>                | 220             | 221             | 223             |
| <b>Penetración (0.1mm) =</b>   | <b>221</b>      |                 |                 |
| <b>Especificación técnica=</b> | 120 - 250       |                 |                 |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.6 Ensayo de ductilidad del residuo asfáltico MC-800, MC-70

El manual de la ABC nos indica que este ensayo se realiza con el porcentaje de residuo de la destilación del asfalto diluido MC-800 y MC-70 utilizando el método AASHTO T 51

**Tabla 3.30: Ensayo de ductilidad del residuo asfáltico MC-800 y MC-70**

|                                     | <b>Resultado</b> |              |
|-------------------------------------|------------------|--------------|
|                                     | <b>MC-800</b>    | <b>MC-70</b> |
| <b>Lectura final de ensayo (cm)</b> | <b>103</b>       | <b>101</b>   |
| <b>Especificación técnica=</b>      | ≥ 100 cm         |              |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4.7 Ensayo de adherencia MC-800, MC-70

El manual de la ABC nos indica realizar este ensayo por el método AASHTO T 182 el cual describe el cubrimiento y el procedimiento de inmersión estática a fin de determinar la adherencia del par ligante asfáltico - árido en presencia de agua. El procedimiento se aplica a materiales bituminosos cortados, semisólidos y emulsiones asfálticas.

**Tabla 3.31: Ensayo de adherencia del residuo asfáltico MC-800 y MC-70**

|                                    | <b>Resultado</b> |              |
|------------------------------------|------------------|--------------|
|                                    | <b>MC-800</b>    | <b>MC-70</b> |
| <b>Lectura final de ensayo (%)</b> | <b>98</b>        | <b>94</b>    |
| <b>Especificación técnica=</b>     | ≥ 95 %           |              |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5 TRABAJO DE LABORATORIO PARA AGREGADOS PÉTREOS TRATAMIENTOS ASFÁLTICOS SUPERFICIALES

Los ensayos de laboratorio de los agregados pétreos se presentan en el Anexo 2 fueron realizados según el manual de la ABC, los mismos están referidos a ensayos de: Agregado tipo “B”, agregado tipo “D” y agregado tipo “E”.

La procedencia de los tres agregados citados, son materiales provenientes del Gobierno Municipal de Tarija

A continuación, se presenta una planilla resumen de las características de los agregados, según los ensayos realizados.

**Tabla 3.32: Caracterización de agregados para tratamientos superficiales triples**

| Ensayo                                | Unidad            | Resultado | Especificaciones |           |
|---------------------------------------|-------------------|-----------|------------------|-----------|
|                                       |                   |           | Mín.             | Máx.      |
| Peso específico agregado “B”          | g/cm <sup>3</sup> | 2,59      | -                | -         |
| Peso específico agregado “D”          | g/cm <sup>3</sup> | 2,51      | -                | -         |
| Peso específico agregado “E”          | g/cm <sup>3</sup> | 2,56      | -                | -         |
| Desgaste de Los Ángeles agregado “B”  | %                 | 24,59     | -                | <b>40</b> |
| Desgaste de Los Ángeles agregado “D”  | %                 | 25,12     | -                | <b>40</b> |
| Peso unitario suelto agregado “B”     | g/cm <sup>3</sup> | 1,479     | -                | -         |
| Peso unitario compactado agregado “B” | g/cm <sup>3</sup> | 1,628     | -                | -         |
| Peso unitario suelto agregado “D”     | g/cm <sup>3</sup> | 1,404     | -                | -         |
| Peso unitario compactado agregado “D” | g/cm <sup>3</sup> | 1,509     | -                | -         |
| Peso unitario suelto agregado “E”     | g/cm <sup>3</sup> | 1,361     | -                | -         |
| Peso unitario compactado agregado “E” | g/cm <sup>3</sup> | 1,447     | -                | -         |
| Laminaridad agregado “B”              | %                 | 25,71     | -                | <b>35</b> |
| Laminaridad agregado “D”              | %                 | 26,35     | -                | <b>35</b> |
| Laminaridad agregado “E”              | %                 | 24,06     | -                | <b>35</b> |
| Partículas alargadas agregado “B”     | %                 | 24,82     | -                | -         |
| Partículas alargadas agregado “D”     | %                 | 9,47      | -                | -         |
| Desgaste a los sulfatos agregado “B”  | %                 | 1,20      | -                | <b>12</b> |
| Desgaste a los sulfatos agregado “D”  | %                 | 1,02      | -                | <b>12</b> |
| Dos (2) caras fracturadas agregado    | %                 | 83,70     | <b>75</b>        | -         |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.1 Ensayos de los agregados pétreos para tratamiento asfáltico superficial

#### 3.5.1.1 Análisis granulométrico

Granulometría del agregado es la distribución por tamaño de partículas, expresadas en porcentaje del peso total. La granulometría se determina a través de una serie de tamices apilados, con aberturas que se hace progresivamente más pequeña, y la pesada del material retenido en cada tamiz. Los tamaños de tamices más frecuentemente usados para la granulometría de agregados para una mezcla asfáltica para pavimentación.

Los equipos y procedimientos para realizar el análisis granulométrico de los agregados se detallan en el manual de la ABC el cual nos indica realizar el ensayo por el método AASHTO T-27-11

**Tabla 3.33: Granulometría agregado tipo B "3/4"**

| <b>Tamices</b> | <b>Abertura<br/>(mm)</b> | <b>% Pasa del<br/>Total</b> |
|----------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1"             | 25,40                    | 100,00                      |
| 3/4"           | 19,05                    | 97,00                       |
| 1/2"           | 12,50                    | 50,00                       |
| 3/8"           | 9,53                     | 10,00                       |
| Nº4            | 4,75                     | 0,20                        |
| Nº8            | 2,36                     | 0,10                        |
| Nº40           | 0,43                     | 0,10                        |
| Nº200          | 0,075                    | 0,10                        |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.34: Granulometría agregado pétreo tipo D "1/2"**

| <b>Tamices</b> | <b>Abertura<br/>(mm)</b> | <b>% Pasa del<br/>Total</b> |
|----------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1/2"           | 12,50                    | 100,00                      |
| 3/8"           | 9,53                     | 98,80                       |
| N°4            | 4,75                     | 24,80                       |
| N°8            | 2,36                     | 5,80                        |
| N°40           | 0,43                     | 2,80                        |
| N°200          | 0,075                    | 1,80                        |

**Fuente:** Elaboración propio.

**Tabla 3.35: Granulometría agregado pétreo tipo E "3/8"**

| <b>Tamices</b> | <b>Abertura<br/>(mm)</b> | <b>% Pasa del<br/>Total</b> |
|----------------|--------------------------|-----------------------------|
| 3/8"           | 9,53                     | 100                         |
| N°4            | 4,75                     | 87,50                       |
| N°8            | 2,36                     | 22,50                       |
| N°40           | 0,43                     | 2,50                        |
| N°200          | 0,075                    | 1,00                        |

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.5.1.2 Peso específico**

#### **3.5.1.2.1 Peso específico del agregado tipo "B" y "D"**

El manual de la ABC nos dice que el equipo y los procedimientos para la determinación del peso específico de los agregados grueso se detallan en AASHTO T-85

**Tabla 3.36: Peso específico agregado tipo "B"**

| <b>Resultados</b>                                   |                   |      |
|---|-------------------|------|
| Peso específico bruto, base muestra s.s.s.          | g/cm <sup>3</sup> | 2,62 |
| Peso específico bruto, base muestra secada al horno | g/cm <sup>3</sup> | 2,59 |
| Peso específico aparente                            | g/cm <sup>3</sup> | 2,67 |
| Por ciento de absorción. % abs                      | %                 | 1,24 |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.37: Peso específico agregado tipo "D"**

| <b>Resultados</b>                                   |                   |      |
|---|-------------------|------|
| Peso específico bruto, base muestra s.s.s.          | g/cm <sup>3</sup> | 2,57 |
| Peso específico bruto, base muestra secada al horno | g/cm <sup>3</sup> | 2,51 |
| Peso específico aparente                            | g/cm <sup>3</sup> | 2,66 |
| Por ciento de absorción. % abs                      | %                 | 2,21 |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3,10: Peso específico agregado tipo "B" y "D"**



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.1.3 Peso unitario suelto y compactado

En este ensayo se analizan ciertas propiedades de los agregados que son muy importantes al momento de diseñar tratamientos asfáltico superficial.

Existen dos tipos de peso unitario: suelto y compactado. El primero hace referencia al material seco que es situado suavemente en un recipiente; siendo de gran importancia en el manejo y transporte de agregados, y que también se usa para determinar el rendimiento de agregado por metro cúbico o metro cuadrado de tratamiento superficial.

El segundo corresponde a cuando las partículas del agregado son sometidas a procesos de compactación o varillado, incrementando de esta manera el valor de la masa unitaria y siendo importante para el diseño de mezclas; debido a que gracias a este se puede determinar el volumen absoluto de los agregados, y calcular el porcentaje de vacío de los materiales.

#### 3.5.1.3.1 Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo "B"

El manual de la ABC nos dice que el equipo y los procedimientos para la realización del ensayo se detalla en AASHTO T-19.

**Tabla 3.38: Peso suelto y compactado de agregado tipo "B"**

| Resultados                            |       |                    |
|---------------------------------------|-------|--------------------|
| Peso unitario suelto del agregado     | 1,479 | gr/cm <sup>3</sup> |
| Peso unitario compactado del agregado | 1,628 | gr/cm <sup>3</sup> |

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 3.5.1.3.2 Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo "D"

El manual de la ABC nos dice que el equipo y los procedimientos para la realización del ensayo se detalla en AASHTO T-19.

**Tabla 3.39: Peso suelto y compactado de agregado tipo "D"**

| Resultados                            |       |                    |
|---------------------------------------|-------|--------------------|
| Peso unitario suelto del agregado     | 1,404 | gr/cm <sup>3</sup> |
| Peso unitario compactado del agregado | 1,509 | gr/cm <sup>3</sup> |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.1.3.3 Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo "E"

El manual de la ABC nos dice que el equipo y los procedimientos para la realización del ensayo se detalla en AASHTO T-19.

**Tabla 3.40: Peso suelto y compactado de agregado tipo "E"**

| Resultados                            |       |                    |
|---------------------------------------|-------|--------------------|
| Peso unitario suelto del agregado     | 1,361 | gr/cm <sup>3</sup> |
| Peso unitario compactado del agregado | 1,447 | gr/cm <sup>3</sup> |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.11: Peso unitario y compactado agregado tipo "B", "D" y "E"**



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.1.4 Resistencia a la desintegración por abrasión mecánica

El ensayo de abrasión o desgaste “Los Ángeles” mide la resistencia al uso o abrasión del agregado mineral. El manual de la ABC nos indica que el equipo requerido y procedimiento para este ensayo se detalla en AASHTO T-96.

#### 3.5.1.4.1 Resistencia al desgaste por abrasión agregado tipo “B”

**Tabla 3.41: Desgaste por abrasión o desgaste de "Los Ángeles"**

| Resultados                      |
|---------------------------------|
| Desgaste por abrasión % = 24,59 |

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 3.5.1.4.2 Resistencia al desgaste agregado tipo “C”

**Tabla 3.42: Desgaste por abrasión o desgaste de "Los Ángeles"**

| Resultados                      |
|---------------------------------|
| Desgaste por abrasión % = 25,12 |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.12: Maquina de desgaste "Los Ángeles"**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.13: Ensayo de desgaste de Los Ángeles**



**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.5.1.5 Ensayo de resistencia a los sulfatos**

El ensayo de resistencia a los sulfatos da una indicación de la resistencia de los áridos gruesos a los agentes atmosféricos. El manual de la ABC nos indica que el procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en AASHTO T-04 y ASTM C-88

#### **3.5.1.5.1 Resistencia a los sulfatos agregado tipo “B”**

**Tabla 3.43: Desgaste por sulfatos agregado pétreo tipo “B”**

| <b>Resultado</b>  |
|---|
| Perdida en peso sometido a cinco ciclos en sulfatos de sodio = 1,20 % |

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **3.5.1.5.2 Resistencia a los sulfatos agregados tipo “D”**

**Tabla 3.44: Desgaste por sulfatos agregado pétreo tipo “D”**

| <b>Resultado</b>  |
|---|
| Perdida en peso sometido a cinco ciclos en sulfatos de sodio = 1,02 % |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.14: Ensayo de resistencia a los sulfatos**



**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.5.1.6 Determinación del índice laminar**

El índice laminar de un agregado es el porcentaje en peso de las partículas en la dimensión mínima (espesor) es menor que 3/5 de la dimensión media del material. Esta prueba no es aplicable a tamaños menor de 1/4 de pulgada (6.3 mm).

#### **3.5.1.6.1 Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “B”**

Para realizar el ensayo el manual de la ABC nos indica que se debe realizar por el método AASHTO C-142.

**Tabla 3.45: Índice de laminaridad agregado pétreo tipo "B"**

| <b>Resultado</b>                |
|---------------------------------|
| Índice de laminaridad = 25,71 % |

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **3.5.1.6.2 Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “D”**

Para realizar el ensayo el manual de la ABC nos indica que se debe realizar por el método AASHTO C-142.

**Tabla 3.46: Índice de laminaridad agregado pétreo tipo "D"**

| Resultado                       |
|---------------------------------|
| Índice de laminaridad = 26,35 % |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.1.6.3 Índice de laminaridad agregado pétreo tipo "E"

Para realizar el ensayo el manual de la ABC nos indica que se debe realizar por el método AASHTO C-142.

**Tabla 3.47: Índice de laminaridad agregado pétreo tipo "E"**

| Resultado                       |
|---------------------------------|
| Índice de laminaridad = 24,06 % |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.15: Ensayo de laminaridad agregado pétreo tipo "B", "D" y "E"**



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.1.7 Determinación del índice de alargamiento

El índice de alargamiento o índice de agujas es el peso de las partículas cuya dimensión máxima es más grande que 1.8 veces su dimensión media.

### 3.5.1.7.1 Índice de alargamiento agregado pétreo tipo "B"

Para realizar el ensayo el manual de la ABC nos indica que se debe realizar por el método AASHTO C-142.

**Tabla 3.48: Índice de alargamiento agregado pétreo tipo "B"**

| Resultado              |           |
|------------------------|-----------|
| Índice de alargamiento | = 24,82 % |

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5.1.7.2 Índice de alargamiento agregado pétreo tipo "D"

Para realizar el ensayo el manual de la ABC nos indica que se debe realizar por el método AASHTO C-142.

**Tabla 3.49: Índice de alargamiento agregado pétreo tipo "D"**

| Resultado              |          |
|------------------------|----------|
| Índice de alargamiento | = 9,47 % |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.16: Ensayo de laminaridad agregado pétreo tipo "B", "D"**



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.1.8 Determinación de caras fracturadas

Algunas especificaciones técnicas contienen requisitos relacionados al porcentaje de agregado pétreo grueso con caras fracturadas con el propósito de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de fricción entre partículas, otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para las mezclas asfálticas en caliente como las mezclas asfálticas en frío, y una textura a la capa de rodadura.

#### 3.5.1.8.1 Evaluación de dos caras fracturadas

Para realizar el ensayo el manual de la ABC nos indica que se debe realizar por el método ASTM D 5821

**Tabla 3.50: Ensayo de dos caras fracturadas**

| Resultado                                 |
|---|
| Porcentaje de caras fracturadas = 83,70 % |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.17: Ensayo de caras fracturadas**



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.6 DISEÑO DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE

EL diseño se lo realiza mediante el manual de la ABC el cual nos indica el método Mc Leod para un tratamiento superficial triple.

El método de Mc Leod ofrece más parámetros respecto a las propiedades del agregado y del asfalto diluido a ser utilizado, por esa razón se escogió este método para determinar los dosajes tanto del agregado y del asfalto diluido.

Además, se realizar el cálculo de los dosajes por dos métodos como ser el método del centro de investigaciones de carreteras Bélgica y el método Linckenhey para realizar una comparación de resultados obtenidos por el método Mc Leod

#### 3.6.1 Diseño tratamiento superficial triple con Asfalto Diluido MC - 70

##### PRIMERA CAPA - AGREGADO TIPO B – ASFALTO DILUIDO MC- 70

|                                 |   |       |                    |
|---------------------------------|---|-------|--------------------|
| Peso unitario suelto, W         | = | 1479  | kg/ m <sup>3</sup> |
| Peso específico bruto, G        | = | 2590  | kg/m <sup>3</sup>  |
| Índice de laminar, I.L.         | = | 25.71 | %                  |
| Tamaño Medio del Agregado, T.M. | = | 12,5  | mm                 |

##### Parámetros del agregado

Vacíos en la capa de agregados, V (decimales):

$$V = 1 - \frac{W}{G}$$

$$V = 0,429$$

Cálculo de la dimensión mínima promedio, H:

$$H = \frac{T.M.}{1,09 + (0,0118 \times I.L.)}$$

$$H = 8,971 \text{ mm}$$

### Parámetros del asfalto diluido

Origen del asfalto: BETUNEL

Disolvente: Kerosene

Tipo de asfalto a emplear en el tratamiento superficial: Asfalto diluido MC - 70

Porcentaje de cemento asfáltico residual del asfalto diluido, R:

Asfalto Diluido MC – 70 = 0.63

### Parámetros de diseño del tratamiento – 1ª capa

**Figura 3.16: Factor de transito**

| <b>FACTOR DE TRANSITO ( T )</b>         |                           |
|---|---------------------------|
| <b>Trafico (TPDA)</b><br><b>veh/dia</b> | <b>Factor</b><br><b>T</b> |
| < 100                                   | 0.85                      |
| 100-500                                 | 0.75                      |
| 500-1000                                | 0.70                      |
| 1000-2000                               | 0.65                      |
| > 2000                                  | 0.60                      |

**T = 0.75**

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.17: Factor de desperdicio**

| <b>FACTOR DE DESPERDICIO ( E )</b> |                                |                           |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| <b>H</b><br><b>mm</b>              | <b>Desperdicio</b><br><b>%</b> | <b>Factor</b><br><b>E</b> |
| < 6.5                              | 5                              | 1.05                      |
| 6.5 - 8.0                          | 4                              | 1.04                      |
| 8.1 - 9.5                          | 3                              | 1.03                      |
| > 9.5                              | 2                              | 1.02                      |

**E = 1**

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.18: Factor de absorción del árido**

| <b>CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREGADO (A)</b> |          |             |             |
|--|----------|-------------|-------------|
| <b>A</b>   | <b>=</b> | <b>0.00</b> | <b>l/m2</b> |

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.19: Corrección por textura superficial**

| <b>Textura Superficial</b>                            | <b>Correccion</b><br>S ( l / m <sup>2</sup> ) |
|---|---|
| Pavimento asfaltico con exceso de asfalto superficial | hasta - 0.3                                   |
| Pavimento asfaltico des textura cerrada               | 0.0   |
| Pavimento asfaltico de textura abierta                |   |
| 1   | 0.1   |
| 2   | 0.2   |
| 3   | 0.3   |
| 4   | 0.4   |
| 5   | 0.5   |
| Base granular imprimada                               | 0.0 - 0.2                                     |

**S = 0.00**

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Cálculo de diseño del tratamiento – 1º capa**

**Cálculo de la cantidad de agregado, C en kg/m<sup>2</sup>**

M: Factor que varía de acuerdo a las condiciones locales de clima, tránsito y agregado, y puede ser mayor o menor que 1.0. Valor adoptado por el diseñador

$$M = 1$$

$$C = M \times (1 - 0.4 \times V) \times H \times G \times E$$

$$C = 19,248 \text{ kg/m}^2$$

**Cálculo de la cantidad de asfalto diluido, B en l/m<sup>2</sup>**

$$M = 1$$

$$B = \frac{M \times (0.4 \times H \times T \times V + S + A)}{R}$$

$$B = 1,832 \text{ l/m}^2$$

**Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 70**

$$63 \% \text{ de C.A.} = 1,154 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$37\% \text{ de solvente} = 0.678 \text{ Ltrs/m}^2$$

## SEGUNDA CAPA - AGREGADO TIPO D – ASFALTO DILUIDO MC- 70

|                                 |   |       |        |
|---------------------------------|---|-------|--------|
| Peso unitario suelto, W         | = | 1404  | kg/ m3 |
| Peso específico bruto, G        | = | 2510  | kg/m3  |
| Índice de laminar, I.L.         | = | 26,35 | %      |
| Tamaño Medio del Agregado, T.M. | = | 6,75  | mm     |

### Parámetros del agregado

Vacíos en la capa de agregados, V (decimales):

$$V = 1 - \frac{W}{G}$$

$$V = 0,441$$

Cálculo de la dimensión mínima promedio, H:

$$H = \frac{T.M.}{1.09 + (0.0118 \times I.L.)}$$

$$H = 4,818 \text{ mm}$$

### Parámetros del asfalto diluido

Origen del asfalto: BETUNEL

Disolvente: Kerosene

Tipo de asfalto a emplear en el tratamiento superficial: Asfalto diluido MC - 70

Porcentaje de cemento asfáltico residual del asfalto diluido, R:

Asfalto Diluido MC – 70 = 0.63

### Parámetros de diseño del tratamiento – 2ª capa

Figura 3.20: Factor de transito

| <b>FACTOR DE TRANSITO ( T )</b> |               |
|---------------------------------|---------------|
| <b>Trafico (TPDA)</b>           | <b>Factor</b> |
| <b>veh/dia</b>                  | <b>T</b>      |
| < 100                           | 0.85          |
| 100-500                         | 0.75          |
| 500-1000                        | 0.70          |
| 1000-2000                       | 0.65          |
| > 2000                          | 0.60          |

$$T = 0.75$$

Fuente: Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.21: Factor de desperdicio**

| <b>FACTOR DE DESPERDICIO ( E )</b> |                    |               |
|------------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>H</b>                           | <b>Desperdicio</b> | <b>Factor</b> |
| <b>mm</b>                          | <b>%</b>           | <b>E</b>      |
| < 6.5                              | 5                  | 1.05          |
| 6.5 - 8.0                          | 4                  | 1.04          |
| 8.1 - 9.5                          | 3                  | 1.03          |
| > 9.5                              | 2                  | 1.02          |

**E = 1**

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.22: Factor de absorción del agregado**

| <b>CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREGADO (A)</b> |          |                             |
|--|----------|-----------------------------|
| <b>A</b>   | <b>=</b> | <b>0.00 l/m<sup>2</sup></b> |

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.23: Corrección por textura superficial**

| <b>Textura Superficial</b>                            | <b>Correccion</b>              |
|---|--------------------------------|
|   | <b>S ( l / m<sup>2</sup> )</b> |
| Pavimento asfáltico con exceso de asfalto superficial | hasta - 0.3                    |
| Pavimento asfáltico des textura cerrada               | 0.0                            |
| Pavimento asfáltico de textura abierta                |                                |
| 1   | 0.1                            |
| 2   | 0.2                            |
| 3   | 0.3                            |
| 4   | 0.4                            |
| 5   | 0.5                            |
| Base granular imprimada                               | 0.0 - 0.2                      |

**S = 0.00**

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC)

**Cálculo de diseño del tratamiento – 2º capa**

**Cálculo de la cantidad de agregado, C en kg/m<sup>2</sup>**

M: Factor que varía de acuerdo a las condiciones locales de clima, tránsito y agregado, y puede ser mayor o menor que 1.0. Valor adoptado por el diseñador

$$M = 1$$

$$C = M \times (1 - 0.4 \times V) \times H \times G \times E$$

$$C = 9,962 \text{ kg/m}^2$$

**Cálculo de la cantidad de asfalto diluido, B en l/m<sup>2</sup>**

$$M = 1$$

$$B = \frac{M \times (0.4 \times H \times T \times V + S + A)}{R}$$

$$B = \frac{1 \times (0.4 \times 4.818 \times 0.75 \times 0.441 + 0 + 0)}{0.63}$$

$$B = 1,011 \text{ l/m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 70

$$63 \% \text{ de C.A.} = 0,637 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$37\% \text{ de solvente} = 0,374 \text{ Ltrs/m}^2$$

### TERCERA CAPA - AGREGADO TIPO E – ASFALTO DILUIDO MC- 70

|                                 |   |       |                    |
|---------------------------------|---|-------|--------------------|
| Peso unitario suelto, W         | = | 1361  | kg/ m <sup>3</sup> |
| Peso específico bruto, G        | = | 2560  | kg/m <sup>3</sup>  |
| Índice de laminar, I.L.         | = | 24,06 | %                  |
| Tamaño Medio del Agregado, T.M. | = | 3,56  | mm                 |

#### Parámetros del agregado

Vacíos en la capa de agregados, V (decimales):

$$V = 1 - \frac{W}{G}$$

$$V = 0,468$$

Cálculo de la dimensión mínima promedio, H:

$$H = \frac{T. M.}{1,09 + (0,0118 \times I. L.)}$$

$$H = \frac{3.56}{1,09 + (0,0118 \times 24.05.)}$$

$$H = 2,591 \text{ mm}$$

### Parámetros del asfalto diluido

Origen del asfalto: BETUNEL

Disolvente: Kerosene

Tipo de asfalto a emplear en el tratamiento superficial: Asfalto diluido MC - 70

Porcentaje de cemento asfáltico residual del asfalto diluido, R:

Asfalto Diluido MC – 70 = 0.63

### PARAMETROS DE DISEÑO DEL TRATAMIENTO – 3ª CAPA

**Figura 3.24: Factor de transito**

| <b>FACTOR DE TRANSITO ( T )</b> |               |
|---------------------------------|---------------|
| <b>Trafico (TPDA)</b>           | <b>Factor</b> |
| <b>veh/día</b>                  | <b>T</b>      |
| < 100                           | 0.85          |
| 100-500                         | 0.75          |
| 500-1000                        | 0.70          |
| 1000-2000                       | 0.65          |
| > 2000                          | 0.60          |

$$T = 0.75$$

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.25: Factor de desperdicio**

| <b>FACTOR DE DESPERDICIO ( E )</b> |                    |               |
|------------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>H</b>                           | <b>Desperdicio</b> | <b>Factor</b> |
| <b>mm</b>                          | <b>%</b>           | <b>E</b>      |
| < 6.5                              | 5                  | 1.05          |
| 6.5 - 8.0                          | 4                  | 1.04          |
| 8.1 - 9.5                          | 3                  | 1.03          |
| > 9.5                              | 2                  | 1.02          |

$$E = 1$$

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.26: Factor de absorción del agregado**

| <b>CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREGADO (A)</b> |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| A  | = | 0.00 l/m <sup>2</sup> |

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.27: Corrección por textura superficial**

| Textura Superficial                                   | Correccion<br>S ( l / m2 ) |
|---|----------------------------|
| Pavimento asfaltico con exceso de asfalto superficial | hasta - 0.3                |
| Pavimento asfaltico des textura cerrada               | 0.0                        |
| Pavimento asfaltico de textura abierta                |                            |
| 1   | 0.1                        |
| 2   | 0.2                        |
| 3   | 0.3                        |
| 4   | 0.4                        |
| 5   | 0.5                        |
| Base granular imprimada                               | 0.0 - 0.2                  |
| <b>S = 0.00</b>                                       |                            |

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

### Cálculo de diseño del tratamiento – 3° capa

#### Cálculo de la cantidad de agregado, C en kg/m<sup>2</sup>

M: Factor que varía de acuerdo a las condiciones locales de clima, tránsito y agregado, y puede ser mayor o menor que 1.0. Valor adoptado por el diseñador

$$M = 1$$

$$C = M \times (1 - 0,4 \times V) \times H \times G \times E$$

$$C = 1 \times (1 - 0,4 \times 0,434) \times 0,00259 \times 2404 \times 1$$

$$C = 5,391 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la cantidad de asfalto diluido, B en l/m<sup>2</sup>

$$M = 1$$

$$B = \frac{M \times (0.4 \times H \times T \times V + S + A)}{R}$$

$$B = \frac{1 \times (0.4 \times 2.590 \times 0.75 \times 0.434 + 0 + 0)}{0.63}$$

$$B = 0,578 \text{ l/m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 70

$$63 \% \text{ de C.A.} = 0,364 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$37\% \text{ de solvente} = 0,214 \text{ Ltrs/m}^2$$

**Cantidad total de Cemento Asfáltico para las 3 capas. -**

$$1,154 + 0,637 + 0,364 = 2,155 \text{ ltrs/ m}^2$$

**Cantidad total del solvente Kerosene para las 3 capas. -**

$$0,678 + 0,374 + 0,214 = 1,266 \text{ ltrs/ m}^2$$

**Cantidad total de asfalto diluido MC – 70 para las tres capas. -**

$$1,832 + 1,011 + 0,578 = 3,421 \text{ ltrs/ m}^2$$

### **3.6.2 Diseño tratamiento superficial triple con Asfalto Diluido MC - 800**

#### **PRIMERA CAPA - AGREGADO TIPO B – ASFALTO DILUIDO MC- 800**

|                                 |   |       |        |
|---------------------------------|---|-------|--------|
| Peso unitario suelto, W         | = | 1479  | kg/ m3 |
| Peso específico bruto, G        | = | 2590  | kg/m3  |
| Índice de laminar, I.L.         | = | 25,71 | %      |
| Tamaño Medio del Agregado, T.M. | = | 12,5  | mm     |

**Parámetros del agregado**

**Vacíos en la capa de agregados, V (decimales):**

$$V = 1 - \frac{W}{G}$$

$$V = 0,429$$

**Cálculo de la dimensión mínima promedio, H:**

$$H = \frac{T.M.}{1.09 + (0.0118 \times I.L.)}$$

$$H = 8,971 \text{ mm}$$

### Parámetros del asfalto diluido

Origen del asfalto: BETUNEL

Disolvente: Kerosene

Tipo de asfalto a emplear en el tratamiento superficial: Asfalto diluido MC – 800

Porcentaje de cemento asfáltico residual del asfalto diluido, R:

Asfalto Diluido MC – 800 = 0,82

### Parámetros de diseño del tratamiento – 1ª capa

**Figura 3.28: Factor de transito**

| <b>FACTOR DE TRANSITO ( T )</b> |               |
|---------------------------------|---------------|
| <b>Trafico (TPDA)</b>           | <b>Factor</b> |
| <b>veh/dia</b>                  | <b>T</b>      |
| < 100                           | 0.85          |
| 100-500                         | 0.75          |
| 500-1000                        | 0.70          |
| 1000-2000                       | 0.65          |
| > 2000                          | 0.60          |

$$T = 0.75$$

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.29: Factor de desperdicio**

| <b>FACTOR DE DESPERDICIO ( E )</b> |                    |               |
|------------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>H</b>                           | <b>Desperdicio</b> | <b>Factor</b> |
| <b>mm</b>                          | <b>%</b>           | <b>E</b>      |
| < 6.5                              | 5                  | 1.05          |
| 6.5 - 8.0                          | 4                  | 1.04          |
| 8.1 - 9.5                          | 3                  | 1.03          |
| > 9.5                              | 2                  | 1.02          |

$$E = 1$$

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.30: Factor de absorción del agregado**

| <b>CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREGADO (A)</b> |   |      |                  |
|--|---|------|------------------|
| A  | = | 0.00 | l/m <sup>2</sup> |

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.31: Corrección por textura superficial**

| <b>Textura Superficial</b>                            | <b>Correccion<br/>S ( l/ m2 )</b> |
|---|-----------------------------------|
| Pavimento asfáltico con exceso de asfalto superficial | hasta - 0.3                       |
| Pavimento asfáltico des textura cerrada               | 0.0                               |
| Pavimento asfáltico de textura abierta                |                                   |
| 1   | 0.1                               |
| 2   | 0.2                               |
| 3   | 0.3                               |
| 4   | 0.4                               |
| 5   | 0.5                               |
| Base granular imprimada                               | 0.0 - 0.2                         |
| <b>S = 0.00</b>                                       |                                   |

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Cálculo de diseño del tratamiento – 1º capa**

**Cálculo de la cantidad de agregado, C en kg/m<sup>2</sup>**

M: Factor que varía de acuerdo a las condiciones locales de clima, tránsito y agregado, y puede ser mayor o menor que 1.0. Valor adoptado por el diseñador

$$M = 1$$

$$C = M \times (1 - 0,4 \times V) \times H \times G \times E$$

$$C = 19,248 \text{ kg/m}^2$$

**Cálculo de la cantidad de asfalto diluido, B en l/m<sup>2</sup>**

$$M = 1$$

$$B = \frac{M \times (0.4 \times H \times T \times V + S + A)}{R}$$

$$B = 1,408 \text{ l/m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 800

$$82 \% \text{ de C.A.} = 1,154 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$18 \% \text{ de solvente} = 0,253 \text{ Ltrs/m}^2$$

## SEGUNDA CAPA - AGREGADO TIPO D – ASFALTO DILUIDO MC- 800

|                                 |   |       |        |
|---------------------------------|---|-------|--------|
| Peso unitario suelto, W         | = | 1404  | kg/ m3 |
| Peso específico bruto, G        | = | 2510  | kg/m3  |
| Índice de laminar, I.L.         | = | 26,35 | %      |
| Tamaño Medio del Agregado, T.M. | = | 6,75  | mm     |

### Parámetros del agregado

Vacíos en la capa de agregados, V (decimales):

$$V = 1 - \frac{W}{G}$$

$$V = 0,441$$

Cálculo de la dimensión mínima promedio, H:

$$H = \frac{T.M.}{1.09 + (0.0118 \times I.L.)}$$

$$H = \frac{6.75}{1.09 + (0.0118 \times 26.35)}$$

$$H = 4,818 \text{ mm}$$

### Parámetros del asfalto diluido

Origen del asfalto: BETUNEL

Disolvente: Kerosene

Tipo de asfalto a emplear en el tratamiento superficial: Asfalto diluido MC - 800

Porcentaje de cemento asfáltico residual del asfalto diluido, R:

Asfalto Diluido MC – 800 = 0,82

### Parámetros de diseño del tratamiento – 2ª capa

**Figura 3.32: Factor de transito**

| <b>FACTOR DE TRANSITO ( T )</b> |               |
|---------------------------------|---------------|
| <b>Trafico (TPDA)</b>           | <b>Factor</b> |
| <b>veh/dia</b>                  | <b>T</b>      |
| < 100                           | 0.85          |
| 100-500                         | 0.75          |
| 500-1000                        | 0.70          |
| 1000-2000                       | 0.65          |
| > 2000                          | 0.60          |

**T = 0.75**

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.33: Factor de desperdicio**

| <b>FACTOR DE DESPERDICIO ( E )</b> |                    |               |
|------------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>H</b>                           | <b>Desperdicio</b> | <b>Factor</b> |
| <b>mm</b>                          | <b>%</b>           | <b>E</b>      |
| < 6.5                              | 5                  | 1.05          |
| 6.5 - 8.0                          | 4                  | 1.04          |
| 8.1 - 9.5                          | 3                  | 1.03          |
| > 9.5                              | 2                  | 1.02          |

**E = 1**

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.34: Factor de absorción del agregado**

| <b>CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREGADO ( A )</b> |          |             |                        |
|--|----------|-------------|------------------------|
| <b>A</b>   | <b>=</b> | <b>0.00</b> | <b>l/m<sup>2</sup></b> |

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.35: Corrección por textura superficial**

| <b>Textura Superficial</b>                            | <b>Correccion</b>              |
|---|--------------------------------|
|   | <b>S ( 1 / m<sup>2</sup> )</b> |
| Pavimento asfaltico con exceso de asfalto superficial | hasta - 0.3                    |
| Pavimento asfaltico des textura cerrada               | 0.0                            |
| Pavimento asfaltico de textura abierta                |                                |
| 1   | 0.1                            |
| 2   | 0.2                            |
| 3   | 0.3                            |
| 4   | 0.4                            |
| 5   | 0.5                            |
| Base granular imprimada                               | 0.0 - 0.2                      |

**S = 0.00**

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

### **Cálculo de diseño del tratamiento – 2º capa**

#### **Cálculo de la cantidad de agregado, C en kg/m<sup>2</sup>**

M: Factor que varía de acuerdo a las condiciones locales de clima, tránsito y agregado, y puede ser mayor o menor que 1.0. Valor adoptado por el diseñador

$$M = 1$$

$$C = M \times (1 - 0,4 \times V) \times H \times G \times E$$

$$C = 1 \times (1 - 0,4 \times 0,440) \times 0,00482 \times 2510 \times 1$$

$$C = 9,962 \text{ kg/m}^2$$

Cálculo de la cantidad de asfalto diluido, B en l/m<sup>2</sup>

$$M = 1$$

$$B = \frac{M \times (0,4 \times H \times T \times V + S + A)}{R}$$

$$B = \frac{1 \times (0,4 \times 4,82 \times 0,75 \times 0,440 + 0 + 0)}{0,82}$$

$$B = 0,777 \text{ l/m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 70

$$82 \% \text{ de C.A.} = 0,637 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$18 \% \text{ de solvente} = 0,140 \text{ Ltrs/m}^2$$

### **SEGUNDA CAPA - AGREGADO TIPO E – ASFALTO DILUIDO MC- 800**

|                                 |   |       |                    |
|---------------------------------|---|-------|--------------------|
| Peso unitario suelto, W         | = | 1361  | kg/ m <sup>3</sup> |
| Peso específico bruto, G        | = | 2560  | kg/m <sup>3</sup>  |
| Índice de laminar, I.L.         | = | 24.06 | %                  |
| Tamaño Medio del Agregado, T.M. | = | 3,56  | mm                 |

#### **Parámetros del agregado**

**Vacíos en la capa de agregados, V (decimales):**

$$V = 1 - \frac{W}{G}$$

$$V = 0,468$$

**Cálculo de la dimensión mínima promedio, H:**

$$H = \frac{T.M.}{1.09 + (0.0118 \times I.L.)}$$

$$H = 2,591 \text{ mm}$$

**Parámetros del asfalto diluido**

Origen del asfalto: BETUNEL

Disolvente: Kerosene

Tipo de asfalto a emplear en el tratamiento superficial: Asfalto diluido MC - 800

Porcentaje de cemento asfáltico residual del asfalto diluido, R:

Asfalto Diluido MC – 800 = 0,82

**Parámetros de diseño del tratamiento – 3ª capa**

**Figura 3.36; Factor de transito**

| <b>FACTOR DE TRANSITO ( T )</b> |               |
|---------------------------------|---------------|
| <b>Trafico (TPDA)</b>           | <b>Factor</b> |
| <b>veh/dia</b>                  | <b>T</b>      |
| < 100                           | 0.85          |
| 100-500                         | 0.75          |
| 500-1000                        | 0.70          |
| 1000-2000                       | 0.65          |
| > 2000                          | 0.60          |

**T = 0.75**

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.37: Factor de desperdicio**

| <b>FACTOR DE DESPERDICIO ( E )</b> |                    |               |
|------------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>H</b>                           | <b>Desperdicio</b> | <b>Factor</b> |
| <b>mm</b>                          | <b>%</b>           | <b>E</b>      |
| < 6.5                              | 5                  | 1.05          |
| 6.5 - 8.0                          | 4                  | 1.04          |
| 8.1 - 9.5                          | 3                  | 1.03          |
| > 9.5                              | 2                  | 1.02          |

**E = 1**

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.38: Factor de absorción del agregado**

| <b>CORRECCION POR ABSORCION DEL AGREGADO (A)</b> |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| A  | = | 0.00 l/m <sup>2</sup> |

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

**Figura 3.39: Corrección por textura superficial**

| Textura Superficial                                   | Correccion<br>S ( l / m <sup>2</sup> ) |
|---|--|
| Pavimento asfaltico con exceso de asfalto superficial | hasta - 0.3                            |
| Pavimento asfaltico des textura cerrada               | 0.0                                    |
| Pavimento asfaltico de textura abierta                |  |
| 1   | 0.1                                    |
| 2   | 0.2                                    |
| 3   | 0.3                                    |
| 4   | 0.4                                    |
| 5   | 0.5                                    |
| Base granular imprimada                               | 0.0 - 0.2                              |
| <b>S = 0.00</b>                                       |  |

**Fuente:** Manual técnico para el diseño de carreteras (ABC).

### Cálculo de diseño del tratamiento – 3º capa

#### Cálculo de la cantidad de agregado, C en kg/m<sup>2</sup>

M: Factor que varía de acuerdo a las condiciones locales de clima, tránsito y agregado, y puede ser mayor o menor que 1,0. Valor adoptado por el diseñador

$$M = 1$$

$$C = M \times (1 - 0,4 \times V) \times H \times G \times E$$

$$C = 1 \times (1 - 0,4 \times 0,434) \times 0,00259 \times 2404 \times 1$$

$$C = 5,391 \text{ kg/m}^2$$

#### Cálculo de la cantidad de asfalto diluido, B en l/m<sup>2</sup>

$$M = 1$$

$$B = \frac{M \times (0,4 \times H \times T \times V + S + A)}{R}$$

$$B = \frac{1 \times (0,4 \times 2,59 \times 0,75 \times 0,434 + 0 + 0)}{0,82}$$

$$B = 0,444 \text{ l/m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 800

$$82 \% \text{ de C.A.} = 0,364 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$18 \% \text{ de solvente} = 0,080 \text{ Ltrs/m}^2$$

**Cantidad total de Cemento Asfáltico para las 3 capas. -**

$$1,154 + 0,637 + 0,364 = 2,155 \text{ ltrs/ m}^2$$

**Cantidad total del solvente Kerosene para las 3 capas. -**

$$0,253 + 0,140 + 0,080 = 0,473 \text{ ltrs/ m}^2$$

**Cantidad total de asfalto diluido MC – 800 para las tres capas. -**

$$1,408 + 0,777 + 0,444 = 2,629 \text{ ltrs/ m}^2$$

### **3.6.3 Diseño de un tratamiento superficial triple por el método de investigación de carreteras (Bélgica)**

**Primera capa- agregado tipo B**

Cálculo del volumen de áridos 1ª capa

$$Q = A - \frac{A^2}{100} + R$$

**Donde:**

Q = Cantidad de árido, en Ltrs/m<sup>2</sup>

A = 12,5 mm

R = Parámetro de pérdida para un agregado de T.M. de 12.5 interpolando:

1.0 Ltrs / m<sup>2</sup> para A= 5 mm

R Ltrs / m<sup>2</sup> para A= 12,5 mm                      R = 1,250 Ltrs / m<sup>2</sup>

1,5 Ltrs / m<sup>2</sup> para A= 20 mm

$$Q = 12,5 - \frac{12,5^2}{100} + 1,250$$

$$Q = 12,188 \text{ ltrs/ m}^2$$

Calculo de la cantidad de asfalto diluido 1ª capa

$$L = a + b * Q$$

**Donde:**

L = Cantidad de ligante en Ltrs / m<sup>2</sup>

a = 0,34 bases normales

b = 0,09 áridos naturales

$$L = 0,34 + 0,09 * 12,188$$

$$L = 1,437 \text{ ltrs/ m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 70

$$63 \% \text{ de C.A.} = 0,905 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$37 \% \text{ de solvente} = 0,532 \text{ Ltrs/m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 800

$$82 \% \text{ de C.A.} = 1,178 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$18 \% \text{ de solvente} = 0,259 \text{ Ltrs/m}^2$$

**Segunda capa- agregado tipo D**

Cálculo del volumen de áridos 1ª capa

$$Q = A - \frac{A^2}{100} + R$$

Donde:

Q = Cantidad de árido, en Ltrs/m<sup>2</sup>

A = 6,75 mm

R = Parámetro de pérdida para un agregado de T.M. de 6.75 interpolando:

1.0 Ltrs / m<sup>2</sup> para A= 5 mm

R Ltrs / m<sup>2</sup> para A= 6,75 mm                      R = 1,058 Ltrs / m<sup>2</sup>

1,5 Ltrs / m<sup>2</sup> para A= 20 mm

$$Q = 6,75 - \frac{6,75^2}{100} + 1,058$$

$$Q = 7,352 \text{ ltrs/ m}^2$$

Calculo de la cantidad de asfalto 1ª capa

$$L = a + b * Q$$

**Donde:**

L = Cantidad de ligante en Ltrs / m<sup>2</sup>

a = 0,34 bases normales

b = 0,09 áridos naturales

$$L = 0,34 + 0,09 * 7,352$$

$$L = 1,002 \text{ ltrs/ m}^2$$

**Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 70**

$$63 \% \text{ de C.A.} = 0,631 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$37 \% \text{ de solvente} = 0,371 \text{ Ltrs/m}^2$$

**Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 800**

$$82 \% \text{ de C.A.} = 0,822 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$18 \% \text{ de solvente} = 0,180 \text{ Ltrs/m}^2$$

**Tercera capa- agregado tipo E**

Cálculo del volumen de áridos 1ª capa

$$Q = A - \frac{A^2}{100} + R$$

**Donde:**

Q = Cantidad de árido, en Ltrs/m<sup>2</sup>

D = 3,56 mm

R = Parámetro de pérdida para un agregado de T.M. de 3.56 interpolando:

0,967 Ltrs / m<sup>2</sup> para A = 4 mm

R Ltrs / m<sup>2</sup> para A = 3,56 mm                      R = 0,952 Ltrs / m<sup>2</sup>  
0,934 Ltrs / m<sup>2</sup> para A = 3 mm

$$Q = 3,56 - \frac{3,56^2}{100} + 0,952$$

$$Q = 4,385 \text{ ltrs/ m}^2$$

Calculo de la cantidad de asfalto 1<sup>a</sup> capa

$$L = a + b * Q$$

**Donde:**

L = Cantidad de ligante en Ltrs / m<sup>2</sup>

a = 0,34 bases normales

b = 0,09 áridos naturales

$$L = 0,34 + 0,09 * 4,385$$

$$L = 0,735 \text{ ltrs/ m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 70

$$63 \% \text{ de C.A.} = 0,463 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$37 \% \text{ de solvente} = 0,272 \text{ Ltrs/m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 800

$$82 \% \text{ de C.A.} = 0,603 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$18 \% \text{ de solvente} = 0,132 \text{ Ltrs/m}^2$$

### **3.6.4 Diseño de un tratamiento superficial triple por el método Linckenhey o Regla de tres**

#### **Primera capa – Agregado tipo B**

En condiciones normales y para un tamaño medio del árido superior a 10 mm, el volumen necesario del árido (Q) será:

$$Q = 0,9 * A$$

Si el tamaño medio es menor que 10 mm, entonces

$$Q = 3 + 0,7 * A$$

**Donde:**

A = tamaño medio del agregado

A = 12,5 mm

Primera capa – Agregado tipo B

**Cálculo del volumen del agregado 1ª capa**

A = 12,5 mm

$$Q = 0,9 * A$$

$$Q = 0,9 * 12,5$$

$$Q = 11,250 \text{ ltrs/ m}^2$$

Cálculo de la cantidad de ligante 1ª capa

$$L = 0,10 * Q$$

$$L = 0,10 * 11,250$$

$$L = 1,125 \text{ ltrs/ m}^2$$

**Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 70**

$$63 \% \text{ de C.A.} = 0,709 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$37 \% \text{ de solvente} = 0,416 \text{ Ltrs/m}^2$$

**Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 800**

$$82 \% \text{ de C.A.} = 0,923 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$18 \% \text{ de solvente} = 0,203 \text{ Ltrs/m}^2$$

**Segunda capa – Agregado tipo D**

Cálculo del volumen del agregado 2ª capa

$$A = 6,75 \text{ mm}$$

$$Q = 3 + 0.7 * A$$

$$Q = 3 + 0.7 * 6,75$$

$$Q = 7,725 \text{ ltrs/ m}^2$$

Cálculo de la cantidad de ligante 2ª capa

$$L = 0,10 * Q$$

$$L = 0,10 * 7,725$$

$$L = 0,773 \text{ ltrs/ m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 70

$$63 \% \text{ de C.A.} = 0,487 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$37 \% \text{ de solvente} = 0,286 \text{ Ltrs/m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 800

$$82 \% \text{ de C.A.} = 0,634 \text{ Ltrs/m}^2$$

$$18 \% \text{ de solvente} = 0,139 \text{ Ltrs/m}^2$$

### **Tercera capa – Agregado tipo E**

Cálculo del volumen del agregado 3ª capa

$$A = 3,56 \text{ mm}$$

$$Q = 3 + 0,7 * A$$

$$Q = 3 + 0,7 * 3,56$$

$$Q = 5,492 \text{ ltrs/ m}^2$$

Cálculo de la cantidad de ligante 3ª capa

$$L = 0,10 * Q$$

$$L = 0,10 * 5,492$$

$$L = 0,549 \text{ ltrs/ m}^2$$

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 70

63 % de C.A. = **0,346 Ltrs/m<sup>2</sup>**

37 % de solvente = **0,203 Ltrs/m<sup>2</sup>**

Proporciones del Solvente Kerosene para el asfalto diluido MC – 800

82 % de C.A. = **0,450 Ltrs/m<sup>2</sup>**

18 % de solvente = **0,099 Ltrs/m<sup>2</sup>**

**Tabla 3.51: Resumen de la cantidad de agregado pétreo para el diseño del tratamiento superficial triple por tres métodos**

| Aplicación   | Tipo de agregado | Método                       |                              |                                 |
|--------------|------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------|
|              |                  | Mc Leod (kg/m <sup>2</sup> ) | Bélgica (kg/m <sup>2</sup> ) | Linckenhey (kg/m <sup>2</sup> ) |
| Primera capa | “B”              | 19,248                       | 18,026                       | 16,639                          |
| Segunda capa | “D”              | 9,962                        | 10,322                       | 10,846                          |
| Tercera capa | “E”              | 5,391                        | 5,968                        | 7,475                           |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.52: Resumen de la cantidad de asfalto diluido para el diseño del tratamiento superficial triple por tres métodos**

| Aplicación        | Método                                |                                      |                                |                                   |
|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
|                   | Mc Leod MC-800 (Ltrs/m <sup>2</sup> ) | Mc Leod MC-70 (Ltrs/m <sup>2</sup> ) | Bélgica (Ltrs/m <sup>2</sup> ) | Linckenhey (Ltrs/m <sup>2</sup> ) |
| Primera capa      | 1,408                                 | 1,832                                | 1,437                          | 1,125                             |
| Segunda capa      | 0,777                                 | 1,011                                | 1,002                          | 0,773                             |
| Tercera capa      | 0,444                                 | 0,578                                | 0,735                          | 0,549                             |
| <b>Total A. D</b> | <b>2,629</b>                          | <b>3,421</b>                         | <b>3,173</b>                   | <b>2,447</b>                      |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.7 COSTO DE APLICACIÓN DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE CON ASFALTO DILUIDO

#### 3.7.1 Costo de aplicación de tratamiento superficial triple con el asfalto diluido MC-800

##### Rendimientos de los materiales

**Cemento asfáltico:** 2,155 Ltrs/m<sup>2</sup> (*dato del diseño*)

**Kerosene:** 0,473 Ltrs/m<sup>2</sup> (*dato del diseño*)

##### **Primera Capa – Agregado Tipo B:**

**Cantidad de agregado:** 19,248 kg/m<sup>2</sup>

**Peso unitario suelto:** 1479 kg/m<sup>3</sup>

**Rendimiento=** (19,248 kg/m<sup>2</sup>) / (1479 kg/m<sup>3</sup>)

**Rendimiento= 0,01301 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**

##### **Segunda Capa – Agregado Tipo D:**

**Cantidad de agregado:** 9,962 kg/m<sup>2</sup>

**Peso unitario suelto:** 1404 kg/m<sup>3</sup>

**Rendimiento=** (9,962 kg/m<sup>2</sup>) / (1404 kg/m<sup>3</sup>)

**Rendimiento= 0,00710 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**

##### **Tercera Capa – Agregado Tipo E:**

**Cantidad de agregado:** 5,391 kg/m<sup>2</sup>

**Peso unitario suelto:** 1361 kg/m<sup>3</sup>

**Rendimiento=** (5,391 kg/m<sup>2</sup>) / (1361 kg/m<sup>3</sup>)

**Rendimiento= 0,00396 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**

**Precios Unitarios de los materiales;** estos precios han sido tomados del mercado local  
 Los rendimientos y precios unitarios de la mano de obra figuran en la tabla del análisis de precios unitarios con valores tomados del mercado local

**Figura 3.40: Costo del tratamiento superficial triple con asfalto diluido MC-800**

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS                                     |   |                |                 |             |
|---|---|----------------|-----------------|-------------|
| <b>PROYECTO:</b>  | Proyecto de Grado   |                |                 |             |
| <b>ITEM:</b>  | Triple tratamiento superficial con asfalto diluido mc-800 |                |                 |             |
| <b>CANTIDAD:</b>  | 1   |                |                 |             |
| <b>UNIDAD:</b>  | m2  | <b>MONEDA:</b> | Bs              |             |
| DESCRIPCION   | UNIDAD  | CANTIDAD       | PRECIO UNITARIO | COSTO TOTAL |
| <b>1. MATERIALES</b>  |   |                |                 |             |
| Cemento Asfaltico, C.A. 85-100                                    | Ltrs  | 2,155          | 9,500           | 20,473      |
| Kerosene  | Ltrs  | 0,473          | 2,720           | 1,287       |
| Agregado petreo tipo "B"  | m3  | 0,01301        | 140,000         | 1,821       |
| Agregado petreo tipo "D"  | m3  | 0,00710        | 160,000         | 1,136       |
| Agregado petreo tipo "E"  | m3  | 0,00396        | 160,000         | 0,634       |
| <b>TOTAL MATERIALES</b>   |   |                |                 | 25,350      |
| <b>2. MANO DE OBRA</b>  |   |                |                 |             |
| Chofer distribuidor de asfalto y agregado                         | Hr.   | 0,0083         | 16,150          | 0,134       |
| Ayudante operador   | Hr.   | 0,0250         | 16,870          | 0,422       |
| Peon  | Hr.   | 0,0288         | 15,620          | 0,450       |
| Operador de cargador frontal                                      | Hr.   | 0,0083         | 27,500          | 0,228       |
| Operador vibrocompactador liso                                    | Hr.   | 0,0083         | 27,500          | 0,228       |
| Operador vibrocompactador neumatico                               | Hr.   | 0,0167         | 27,500          | 0,459       |
| <b>SUB TOTAL MANO DE OBRA</b>                                     |   |                |                 | 1,921       |
| CARGAS SOCIALES (60% de SUB TOTAL MANO DE OBRA)                   |   |                |                 | 1,153       |
| IMPUESTOS IVA (14,94% de SUBTOTAL MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES) |   |                |                 | 0,459       |
| <b>TOTAL MANO DE OBRA</b>   |   |                |                 | 3,534       |
| <b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>                       |   |                |                 |             |
| Camion distribuidor de Asfalto y agregado                         | Hr.   | 0,0083         | 600,000         | 4,980       |
| Compactador rodillo neumatico                                     | Hr.   | 0,0167         | 304,660         | 5,088       |
| Compactador rodillo liso autopropulsado                           | Hr.   | 0,0083         | 332,330         | 2,758       |
| Cargador frontal  | Hr.   | 0,0083         | 280,000         | 2,324       |
| HERRAMIENTAS (5% de TOTAL MANO DE OBRA)                           |   |                |                 | 0,177       |
| <b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>                    |   |                |                 | 15,327      |
| <b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>                      |   |                |                 |             |
| GASTOS GENERALES (10% de 1+2+3)                                   |   |                |                 | 4,421       |
| <b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>                   |   |                |                 | 4,421       |
| <b>5. UTILIDAD</b>  |   |                |                 |             |
| UTILIDAD (10% de 1+2+3+4)   |   |                |                 | 4,863       |
| <b>TOTAL UTILIDAD</b>   |   |                |                 | 4,863       |
| <b>6. IMPUESTOS</b>   |   |                |                 |             |
| IMPUESTOS IT (3,09% de 1+2+3+4+5)                                 |   |                |                 | 1,653       |
| <b>TOTAL IMPUESTOS</b>  |   |                |                 | 1,653       |
| <b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)</b>                        |   |                |                 | 55,148      |
| <b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO</b>                             |   |                |                 | 55,148      |

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.7.2 Costo de aplicación de tratamiento superficial triple con el asfalto diluido MC-70

#### Rendimientos de los materiales

**Cemento asfáltico:** 2,155 Ltrs/m<sup>2</sup> (*dato del diseño*)

**Kerosene:** 1,266 Ltrs/m<sup>2</sup> (*dato del diseño*)

#### Primera Capa – Agregado Tipo B:

**Cantidad de agregado:** 19,248 kg/m<sup>2</sup>

**Peso unitario suelto:** 1479 kg/m<sup>3</sup>

**Rendimiento=** (19,248 kg/m<sup>2</sup>) / (1479 kg/m<sup>3</sup>)

**Rendimiento= 0,01301 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**

#### Segunda Capa – Agregado Tipo D:

**Cantidad de agregado:** 9,962 kg/m<sup>2</sup>

**Peso unitario suelto:** 1404 kg/m<sup>3</sup>

**Rendimiento=** (9,962 kg/m<sup>2</sup>) / (1404 kg/m<sup>3</sup>)

**Rendimiento= 0,00710 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**

#### Tercera Capa – Agregado Tipo E:

**Cantidad de agregado:** 5,391 kg/m<sup>2</sup>

**Peso unitario suelto:** 1361 kg/m<sup>3</sup>

**Rendimiento=** (5,391 kg/m<sup>2</sup>) / (1361 kg/m<sup>3</sup>)

**Rendimiento= 0,00396 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**

**Precios Unitarios de los materiales;** estos precios han sido tomados del mercado local  
 Los rendimientos y precios unitarios de la mano de obra figuran en la tabla del análisis de precios unitarios con valores tomados del mercado local

**Figura 3.41: Costo del tratamiento superficial triple con asfalto diluido MC-70**

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS                                     |  |          |                 |             |
|---|--|----------|-----------------|-------------|
| PROYECTO:   | Proyecto de Grado  |          |                 |             |
| ITEM:   | Triple tratamiento superficial con asfalto diluido mc-70 |          |                 |             |
| CANTIDAD:   | 1  |          |                 |             |
| UNIDAD:   | m2   | MONEDA:  | Bs              |             |
| DESCRIPCION   | UNIDAD   | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | COSTO TOTAL |
| <b>1. MATERIALES</b>  |  |          |                 |             |
| Cemento Asfaltico, C.A. 85-100                                    | Ltrs   | 2,155    | 9,500           | 20,473      |
| Kerosene  | Ltrs   | 1,266    | 2,720           | 3,444       |
| Agregado petreo tipo "B"  | m3   | 0,01301  | 140,000         | 1,821       |
| Agregado petreo tipo "D"  | m3   | 0,00710  | 160,000         | 1,136       |
| Agregado petreo tipo "E"  | m3   | 0,00396  | 160,000         | 0,634       |
| <b>TOTAL MATERIALES</b>   |  |          |                 | 27,507      |
| <b>2. MANO DE OBRA</b>  |  |          |                 |             |
| Chofer distribuidor de asfalto y agregado                         | Hr.  | 0,0083   | 16,150          | 0,134       |
| Ayudante operador   | Hr.  | 0,0250   | 16,870          | 0,422       |
| Peon  | Hr.  | 0,0288   | 15,620          | 0,450       |
| Operador de cargador frontal                                      | Hr.  | 0,0083   | 27,500          | 0,228       |
| Operador vibrocompactador liso                                    | Hr.  | 0,0083   | 27,500          | 0,228       |
| Operador vibrocompactador neumatico                               | Hr.  | 0,0167   | 27,500          | 0,459       |
| <b>SUB TOTAL MANO DE OBRA</b>                                     |  |          |                 | 1,921       |
| CARGAS SOCIALES (60% de SUB TOTAL MANO DE OBRA)                   |  |          |                 | 1,153       |
| IMPUESTOS IVA (14,94% de SUBTOTAL MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES) |  |          |                 | 0,459       |
| <b>TOTAL MANO DE OBRA</b>   |  |          |                 | 3,534       |
| <b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>                       |  |          |                 |             |
| Camion distribuidor de Asfalto y agregado                         | Hr.  | 0,0083   | 600,000         | 4,980       |
| Compactador rodillo neumatico                                     | Hr.  | 0,0167   | 304,660         | 5,088       |
| Compactador rodillo liso autopropulsado                           | Hr.  | 0,0083   | 332,330         | 2,758       |
| Cargador frontal  | Hr.  | 0,0083   | 280,000         | 2,324       |
| HERRAMIENTAS (5% de TOTAL MANO DE OBRA)                           |  |          |                 | 0,177       |
| <b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>                    |  |          |                 | 15,327      |
| <b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>                      |  |          |                 |             |
| GASTOS GENERALES (10% de 1+2+3)                                   |  |          |                 | 4,637       |
| <b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>                   |  |          |                 | 4,637       |
| <b>5. UTILIDAD</b>  |  |          |                 |             |
| UTILIDAD (10% de 1+2+3+4)   |  |          |                 | 5,100       |
| <b>TOTAL UTILIDAD</b>   |  |          |                 | 5,100       |
| <b>6. IMPUESTOS</b>   |  |          |                 |             |
| IMPUESTOS IT (3,09% de 1+2+3+4+5)                                 |  |          |                 | 1,734       |
| <b>TOTAL IMPUESTOS</b>  |  |          |                 | 1,734       |
| <b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6)</b>                        |  |          |                 | 57,838      |
| <b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO</b>                             |  |          |                 | 57,838      |

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.8 APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE POR EL MÉTODO DE MARSHALL**

El manual de la ABC nos indica realizar esta aplicación por el método AASHTO T 245-97 donde nos describe el equipo y los pasos para realizar las briquetas.

#### **Molde de Compactación**

Consiste de una placa de base plana, molde y collar de extensión cilíndricos. El molde tiene un diámetro interior de 101.6 mm (4") y altura aproximada de 76.2 mm (3"); la placa de base plana y el collar deben ser intercambiables.

#### **Martillo de compactación**

Con base plana circular de apisonado de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro, equipado con un pisón de 4.54 kg (10 lb.) de peso total, cuya altura de caída es de 457.2 mm (18").

#### **Extractor de Muestras de Asfaltos**

Para extraer el espécimen del molde, en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (1/2") de espesor.

#### **SopORTE para molde o porta-molde**

Dispositivo con resorte de tensión diseñado para sostener rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal.

#### **Mordaza**

Consiste de dos semicilindros con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") de acero enchapado para facilitar su fácil limpieza. El segmento inferior termina en una base plana con dos varillas perpendiculares que sirven de guía.

#### **Medidor de Estabilidad**

La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 20 kN (2039 kg) de capacidad, con una sensibilidad de 50 N (5 kg) hasta 5 kN (510 kgf) y 100 N (10 kg) hasta 20 kN (2 039 kg). Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.

#### **Horno**

Horno capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C, se emplea para calentar los agregados.

### Termómetros blindados

De 10°C a 360°C para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3°C.

### Balanza

Para pesar el agregado y asfalto de 5000gr de capacidad y sensibilidad de un 001gr para pesar probetas de 1200 gr.

### 3.8.1 Granulometría de la mezcla

**Tabla 3.53: Pesos de los agregados retenidos a diferentes porcentajes**

| Tamices | Tamaño (mm) | Agregado B          | Agregado D          | Agregado E          | B       | D       | E       |
|---------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------|---------|---------|
|         |             | Peso ret. a 3000 gr | Peso ret. a 3000 gr | Peso ret. a 3000 gr | al 0,56 | al 0,29 | al 0,15 |
| 1"      | 25,4        | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| 3/4"    | 19,0        | 299,70              | 0,00                | 0,00                | 167,83  | 0,00    | 0,00    |
| 1/2"    | 12,5        | 1047,70             | 0,00                | 0,00                | 586,71  | 0,00    | 0,00    |
| 3/8"    | 9,50        | 310,10              | 60,00               | 0,00                | 173,66  | 17,40   | 0,00    |
| Nº4     | 4,75        | 385,00              | 1035,00             | 250,00              | 215,60  | 300,15  | 37,50   |
| Nº8     | 2,36        | 293,30              | 981,90              | 900,00              | 164,25  | 284,75  | 135,00  |
| Nº16    | 1,18        | 303,60              | 550,00              | 300,00              | 170,02  | 159,50  | 45,00   |
| Nº30    | 0,60        | 200,00              | 200,40              | 352,90              | 112,00  | 58,12   | 52,94   |
| Nº50    | 0,30        | 100,50              | 100,00              | 600,00              | 56,28   | 29,00   | 90,00   |
| Nº100   | 0,15        | 30,00               | 50,00               | 300,00              | 16,80   | 14,50   | 45,00   |
| Nº200   | 0,075       | 25,00               | 20,00               | 200,00              | 14,00   | 5,80    | 30,00   |
| BASE    | -           | 5,10                | 2,70                | 97,10               | 2,86    | 0,78    | 14,57   |
| SUMA    |             | 3000,00             | 3000,00             | 3000,00             | 1680,00 | 870,00  | 450,00  |

**Fuente:** Elaboración propia

Para el diseño de las briquetas se utilizó los materiales que se disponían, tanto para el agregado grueso, con lo cual se estableció que las mezclas de agregados estarán compuestas por el 56 % de agregado tipo B (3/4"), 29 % de agregado tipo D (1/2") y 15 % de agregado tipo E (3/8").

A continuación, se muestra la granulometría formada y su límites según las especificaciones del manual de la ABC.



en cuyos porcentajes de asfalto diluidos el porcentaje de solvente son 18%, 21%, 26%, 31%, 37%.

De esta manera varían los pesos de los agregados según varíe la proporción de asfalto diluido.

**Tabla 3.55: Grupos de briquetas con distintos porcentajes de solventes**

| <b>Grupo de briquetas</b> | <b>Asfalto diluido (%)</b> | <b>C.A. (%)</b> | <b>Solvente (%)</b> | <b>N.º de muestras</b> |
|---------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| 1                         | 6,19                       | 82              | 18                  | 3                      |
| 2                         | 6,43                       | 79              | 21                  | 3                      |
| 3                         | 6,83                       | 74              | 26                  | 3                      |
| 4                         | 7,24                       | 69              | 31                  | 3                      |
| 5                         | 7,69                       | 63              | 37                  | 3                      |

**Fuente:** Elaboración propia

Primeramente, para la elaboración de las briquetas con la inclusión del asfalto diluido se deberá tener previamente pesados los agregados pétreos con cada dosificación respectiva de cada grupo que se elaboró.

Una vez obtenidos los pesos de los agregados los mismos se colocarán en una bandeja en la hornilla de la cocina industrial donde los mismos deberán ser calentados a una temperatura de 140-160° una vez calientes los agregados se procederá a incorporar el asfalto diluido para realizar el mezclado con el agregado y posteriormente someterlo a una compactación

En la siguiente tabla se muestra las cantidades del agregado, cemento asfáltico y solvente que se utilizarán para realizar las briquetas del tratamiento superficial triple, para cada grupo

**Tabla 3.56: Cantidades de material para cada porcentaje de solvente en una briqueta**

|                                 | <b>82% C.A<br/>18% SOL</b>             | <b>79% C.A<br/>21% SOL</b> | <b>74% C.A<br/>26% SOL</b> | <b>69% C.A<br/>31% SOL</b> | <b>63% C.A<br/>37% SOL</b> |
|---------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                 | <b>Porcentaje de cemento asfáltico</b> |                            |                            |                            |                            |
|                                 | <b>5,07%</b>                           | <b>5,08%</b>               | <b>5,00%</b>               | <b>4,99%</b>               | <b>4,85%</b>               |
| Porcentaje del agregado (%)     | 93,81%                                 | 93,57%                     | 93,17%                     | 92,76%                     | 92,31%                     |
| Porcentaje de solvente (%)      | 1,11%                                  | 1,35%                      | 1,83%                      | 2,24%                      | 2,85%                      |
| Peso del cemento asfáltico (gr) | 60,88                                  | 60,98                      | 60,00                      | 59,92                      | 58,16                      |
| Peso de agregado B (gr)         | 630,42                                 | 628,76                     | 626,08                     | 623,37                     | 620,30                     |
| Peso de agregado D (gr)         | 326,47                                 | 325,61                     | 324,22                     | 322,82                     | 321,22                     |
| Peso de agregado E (gr)         | 168,86                                 | 168,42                     | 167,70                     | 166,98                     | 166,15                     |
| Peso de solvente (gr)           | 13,37                                  | 16,22                      | 22,01                      | 26,92                      | 34,16                      |
| Peso total de la briqueta (gr)  | 1200,00                                | 1200,00                    | 1200,00                    | 1200,00                    | 1200,00                    |

**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen 3.18: Preparación del material para realizar el pesado de las cantidades de agregado en las briquetas**



**Fuente:** Elaboración propia

**Imagen 3.19: Calentamiento del agregado e inclusión del solvente al cemento asfáltico**



**Fuente:** Elaboración propia

**3.8.3 Ensayo de densidad del tratamiento superficial triple con la inclusión del asfalto diluido**

La densidad real es la que considera el volumen macizo de la probeta, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles.

**Procedimiento**

Dejar secar las muestras a temperatura ambiente, pesar y registrar este valor como “A”.

Sumergir en baño de agua a  $25 \pm 1$  °C por 5 minutos, secar superficialmente, pesar y llamar este valor como “B”. Sumergir la muestra y el peso registrar con “C”.

**Imagen 3.20: Ensayo para determinar la densidad del tratamiento**



**Fuente:** Elaboración propia

## Cálculos

Briqueta 1,2,3 al 4.5 %

Densidad real:

$$Densidad = \frac{A}{B - C}$$

$$Densidad = \frac{952,80}{964,30 - 540}$$

$$Densidad = 2,246 \text{ gr/cm}^3$$

## Donde:

A= Masa de la probeta al aire (gr).

B= Masa de la probeta al aire superficie seca (gr).

C= Masa de la probeta sumergida (gr).

Densidad promedio

$$Densidad \text{ promedio} = \frac{2,25 + 2,18 + 2,21}{3}$$

$$Densidad \text{ promedio} = 2,21 \text{ gr/cm}^3$$

**Tabla 3.57: Resultados de la densidad del tratamiento superficial triple**

| N° de briqueta | kerosene | % de Asfalto diluido |                | altura promedio | Peso Briqueta |                |                   | Volumen         | Densidad Briqueta   |                     |                     |
|----------------|----------|----------------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|-------------------|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                |          | base Mezcla          | base Agregados |                 | seco          | sat. Sup. Seca | sumergida en agua |                 | briqueta            | densidad real       | Densidad promedio   |
|                | %        | %                    | %              | cm              | grs.          | grs.           | grs.              | cm <sup>3</sup> | grs/cm <sup>3</sup> | grs/cm <sup>3</sup> | grs/cm <sup>3</sup> |
| 1              | 18,00    | 6,19                 | 6,60           | 6,82            | 952,80        | 964,30         | 540,00            | 424,30          | 2,25                | 2,21                | 2,27                |
| 2              |          |                      |                | 6,74            | 981,20        | 985,10         | 536,00            | 449,10          | 2,18                |                     |                     |
| 3              |          |                      |                | 6,53            | 967,00        | 969,30         | 532,00            | 437,30          | 2,21                |                     |                     |
| 4              | 21,00    | 6,43                 | 6,88           | 6,78            | 957,60        | 958,30         | 520,00            | 438,30          | 2,18                | 2,20                | 2,26                |
| 5              |          |                      |                | 6,74            | 945,30        | 949,70         | 510,00            | 439,70          | 2,15                |                     |                     |
| 6              |          |                      |                | 6,59            | 922,90        | 926,40         | 517,00            | 409,40          | 2,25                |                     |                     |
| 7              | 26,00    | 6,83                 | 7,34           | 6,72            | 997,20        | 998,10         | 501,00            | 497,10          | 2,01                | 2,08                | 2,24                |
| 8              |          |                      |                | 6,59            | 985,60        | 987,30         | 503,00            | 484,30          | 2,04                |                     |                     |
| 9              |          |                      |                | 6,68            | 933,70        | 935,30         | 510,00            | 425,30          | 2,20                |                     |                     |

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.4 Ensayos para determinar los porcentajes de vacío del tratamiento superficial triple con asfalto diluido

Se debe realizar los cálculos del porcentaje de vacíos totales del tratamiento y la relación betumen vacíos (R.B.V).

Cálculos

Briquetas 1,2,3 al 6,19 %

**Densidad máxima teórica**

$$Densidad\ max.\ teo = \frac{100}{\frac{\%A.D}{P.E.A.D} + \left(\frac{100 - \%A.D}{P.E.agre.}\right)}$$

$$Densidad\ max.\ teo = \frac{100}{\frac{6,19}{0,868} + \left(\frac{100 - 6,19}{2,56}\right)}$$

$$Densidad\ max.\ teo = 2,273\ gr/cm^3$$

**Porcentaje de vacíos**

$$\%Vacios = \frac{Densidad\ max.\ teo - Densidad\ prom}{Densidad\ max.\ teo} * 100$$

$$\%Vacios = \frac{2,27 - 2,21}{2,27} * 100$$

$$\%Vacios = 2,44\ %$$

**Porcentaje de vacíos agregado mineral (V.A.M)**

$$V.A.M = \%Vacios + \frac{Densidad\ prom * \%A.D}{P.E.A.D}$$

$$V.A.M = 2,44 + \frac{2,21 * 6,19}{0,868}$$

$$V.A.M = 18,20\ %$$

**Relación betumen vacíos (R.B.V.)**

$$R.B.V. = \frac{V.M.A - \%Vacios}{V.M.A} * 100$$

$$R.B.V. = \frac{18,20 - 2,44}{18,20} * 100$$

$$R.B.V. = 86,59 \%$$

**Tabla 3.58: Resultados del porcentaje de vacíos y relación de betumen vacíos del tratamiento superficial triple**

| N ° de briqueta | kerosene | % de Asfalto diluido |                | Densidad Briqueta |                   |                         | % de Vacíos              |                                  |                                  |
|-----------------|----------|----------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                 |          | base Mezcla          | base Agregados | densidad real     | Densidad promedio | densidad máxima teórica | % de vacíos mezcla total | V.A.M. (vacíos agregado mineral) | R.B.V. (relación betumen vacíos) |
|                 |          | %                    | %              | grs/cm3           | grs/cm3           | grs/cm3                 | %                        | %                                | %                                |
| 1               | 18,00    | 6,19                 | 6,60           | 2,25              | 2,21              | 2,27                    | 2,44                     | 18,22                            | 86,59                            |
| 2               |          |                      |                | 2,18              |                   |                         |                          |                                  |                                  |
| 3               |          |                      |                | 2,21              |                   |                         |                          |                                  |                                  |
| 4               | 21,00    | 6,43                 | 6,88           | 2,18              | 2,20              | 2,26                    | 2,75                     | 19,03                            | 85,55                            |
| 5               |          |                      |                | 2,15              |                   |                         |                          |                                  |                                  |
| 6               |          |                      |                | 2,25              |                   |                         |                          |                                  |                                  |
| 7               | 26,00    | 6,83                 | 7,34           | 2,01              | 2,08              | 2,24                    | 7,22                     | 23,59                            | 69,38                            |
| 8               |          |                      |                | 2,04              |                   |                         |                          |                                  |                                  |
| 9               |          |                      |                | 2,20              |                   |                         |                          |                                  |                                  |

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.5 Ensayos de estabilidad y fluencia del tratamiento superficial triple con asfalto diluido

Una vez que se haya obtenido los valores para calcular la densidad se debe medir las alturas con un vernier en 4 puntos de la briqueta, para sacar un promedio y usar un factor de corrección.

Antes de realizar el ensayo, las muestras deben ser sumergidas en baño de agua a 60°C ±5°C durante un tiempo de 25-30 minutos.

Se limpia las superficies de las mordazas, se debe verificar previamente la aplicación de la carga, que es el indicador del dial del anillo, que se encuentre en la posición correspondiente a cero.

Se coloca la briqueta en las mordazas y se aplica la carga a una velocidad de deformación constante de 50.8 mm por minuto, hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a  $60 \pm 5^\circ\text{C}$  se anota como el valor de “Estabilidad Marshall”.

Mientras se realiza el ensayo de estabilidad se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (flujo) en posición sobre la varilla guía, leer y anotar como valor de flujo de la briqueta, expresado en milímetros (pulg).

**Imagen 3.21: Ensayo Marshall**



**Fuente:** Elaboración propia

### **Cálculos**

Briquetas 1,2,3 para un porcentaje de asfalto diluido con 18 % de solvente:

$$Carga = (0,012 * Lec - 0,0812) * 102 * 2,20$$

$$Carga = (0,012 * 510 - 0,0812) * 102 * 2,20$$

$$Carga = 1355,107 \text{ lb}$$

$$Carga \text{ corregida} = Carga * \text{Factor de correccion}$$

$$Carga \text{ corregida} = Carga * 1355,107 * 0,89$$

*Carga corregida = 1209,43 lb*

**Realización del promedio de las cargas corregidas:**

$$\text{Promedio} = \frac{\text{briqueta}_1 + \text{briqueta}_2 + \text{briqueta}_3}{3}$$

$$\text{Promedio} = \frac{1209,43 + 1221,79 + 1246,96}{3}$$

$$\text{Promedio} = 1226,06 \text{ lb}$$

**Tabla 3.59: Resultados de la estabilidad y la fluencia del tratamiento superficial triple**

| N ° de briqueta | kerosene | % de Asfalto diluido |                | altura promedio | Estabilidad Marshall |           |                                |                            |                      | Fluencia               |                   |
|-----------------|----------|----------------------|----------------|-----------------|----------------------|-----------|--------------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|
|                 |          | base Mezcla          | base Agregados |                 | lectura del dial     | carga     | factor de corrección de altura | Estabilidad real corregida | Estabilidad promedio | lectura dial del flujo | Fluencia promedio |
|                 |          |                      |                |                 |                      |           |                                |                            |                      |                        |                   |
| 1               | 18,00    | 6,19                 | 6,60           | 6,82            | 510                  | 1355,1067 | 0,89                           | 1209,43                    | 1226,06              | 10                     | 10,33             |
| 2               |          |                      |                | 6,74            | 504                  | 1338,9499 | 0,91                           | 1221,79                    |                      | 10                     |                   |
| 3               |          |                      |                | 6,53            | 491                  | 1303,9435 | 0,96                           | 1246,96                    |                      | 11                     |                   |
| 4               | 21,00    | 6,43                 | 6,88           | 6,78            | 194                  | 504,18192 | 0,90                           | 455,02                     | 450,36               | 13                     | 11,67             |
| 5               |          |                      |                | 6,74            | 191                  | 496,10352 | 0,91                           | 452,69                     |                      | 11                     |                   |
| 6               |          |                      |                | 6,59            | 181                  | 469,17552 | 0,95                           | 443,37                     |                      | 11                     |                   |
| 7               | 26,00    | 6,83                 | 7,34           | 6,72            | 28                   | 57,17712  | 0,92                           | 52,46                      | 53,13                | 15                     | 16,00             |
| 8               |          |                      |                | 6,59            | 25                   | 49,09872  | 0,95                           | 46,40                      |                      | 16                     |                   |
| 9               |          |                      |                | 6,68            | 31                   | 65,25552  | 0,93                           | 60,52                      |                      | 17                     |                   |

**Fuente:** Elaboración propia

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DE LA VISCOSIDAD SEGÚN EL PORCENTAJE DE SOLVENTE

Para realizar el análisis de la influencia del solvente en un cemento asfáltico se tomó cinco dosificaciones del asfalto diluido donde iremos diluyendo el cemento asfáltico con distintas cantidades de solvente para poder identificar el comportamiento que presenta la viscosidad cuando se varía el solvente a continuación se presenta las dosificaciones en la tabla 4.60 tanto del cemento asfáltico y solvente, donde las temperaturas de trabajo fueron las temperaturas de ensayo del asfalto diluido MC-70 a 50 °C y MC-800 a 82,2 °C.

**Tabla 4.60: Dosificaciones para obtener viscosidades intermedias**

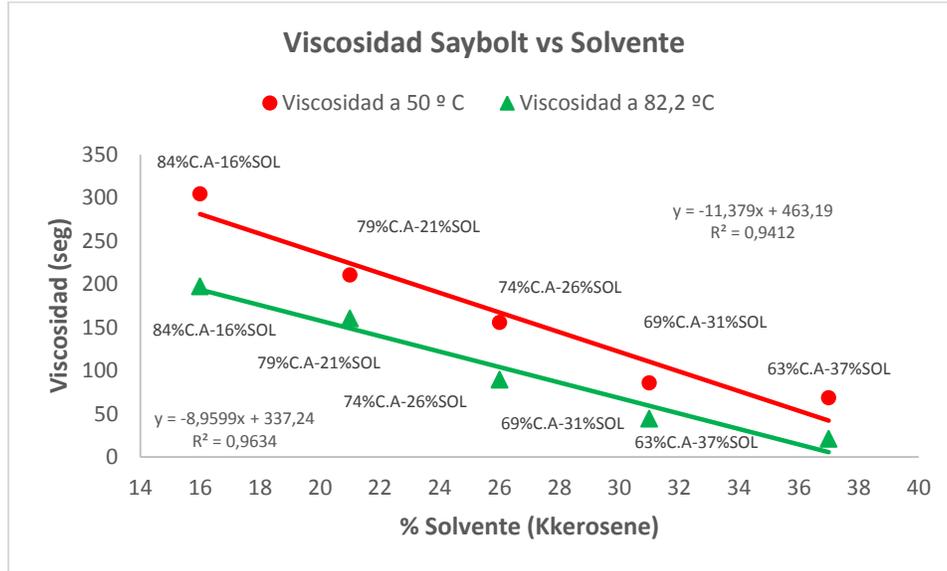
| Dosificación | C.A.<br>(%) | SOL<br>(%) |
|--------------|-------------|------------|
| 1            | 84          | 16         |
| 2            | 79          | 21         |
| 3            | 74          | 26         |
| 4            | 69          | 31         |
| 5            | 63          | 37         |

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura 4.43 podemos observar que existe dos líneas que muestran el comportamiento que tiene la viscosidad a medida que se va diluyendo el cemento asfáltico con solvente dichas curvas están demostrando dos cosas primeramente que al ir diluyendo nuestro cemento asfáltico con mayor cantidad de solvente llegados a afectar directamente a la viscosidad generando una disminución lineal de la misma a medida que se incrementa el solvente en la dosificación a temperaturas constantes.

Segundo que sea cualquier la temperatura de trabajo o ensayo estamos garantizando que nuestro cemento asfáltico tiende a disminuir su viscosidad en presencia de solvente en su dosificación

**Figura 4.43: Viscosidad Saybolt furol vs Solvente**



**Fuente:** Elaboración propia

Realizando una comparación entre ambas líneas podemos decir que si bien en ambas rectas se utilizó la misma dosificación tanto de cemento asfáltico como de solvente existe una diferencia de las viscosidades en cada punto esto únicamente se está dando debido a las temperaturas en las que se realizaron los ensayos.

Esta gráfica nos da a entender que si nosotros vamos incrementando o disminuyendo la cantidad de solvente podemos obtener distintas viscosidades sin la necesidad de modificar la temperatura si se deseara igualar las viscosidades entre ambas rectas manteniendo sus temperaturas de aplicación constantes, únicamente se tendría que modificar la cantidad de solvente en dichos puntos si bien podemos aumentar solvente en las dosificaciones de la recta roja para tener obtener las viscosidades de la línea verde, también podemos disminuir la cantidad de solvente en las dosificaciones de la recta verde para incrementar las viscosidades y obtener las viscosidades de la línea roja sin tener que alterar las temperaturas.

Llegando a definir que la viscosidad de un asfalto diluido no solamente puede ser afectado por la variación de la temperatura si no también al diluir con solvente en cantidades apropiadas podemos alterar de igual manera la viscosidad de los asfaltos.

## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO DE LOS AGREGADOS

### 1) Análisis del tamaño mínimo nominal de los agregados

En la tabla que se presenta a continuación llegamos a concluir que los tamaños mínimo nominal obtenidos en laboratorio para cada agregado son los ideales para el diseño del tratamiento superficial dando cumplimiento a las especificaciones y criterios de diseño donde nos indican que el tamaño mínimo nominal (ALD) de la segunda capa deberá ser aproximadamente la mitad de la dimensión mínima promedio de la primera capa y para la tercera capa debe ser aproximadamente la mitad del tamaño mínimo nominal de la segunda.

Esto se puede evidenciar en el cálculo de los (ALD) de cada capa donde se necesitó como datos el tamaño medio (D50) de los tres agregados los cuales fueron obtenidos de las curvas granulométricas de cada agregado:

**Tabla 4.61: Tamaño mínimo nominal de los agregados pétreos**

| Capa         | Tamaño mínimo promedio (ALD)     | Especificación Nueva Zelanda TNZ M/6 |
|--------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Primera capa | ALD agregado tipo “B” = 8,971 mm | (7,5 mm – 10,0 mm)                   |
| Segunda capa | ALD agregado tipo “D” = 4,818 mm | 0.50*(7,5 mm – 10,0 mm)              |
| Tercera capa | ALD agregado tipo “E” = 2,591 mm | 0.25*(7,5 mm – 10,0 mm)              |

**Fuente:** Elaboración propia

### 2) Análisis de índice de laminaridad

Los resultados obtenidos en laboratorio según las especificaciones de Nueva Zelanda se encuentran por debajo siendo valores validos en el diseño del tratamiento superficial nos encontramos por debajo de este límite debido a la poca presencia de partículas planas teniendo pesos bajos como se puede verificar en las granulometrías de índice de aplanamiento de cada agregado.

**Tabla 4.62: Índice de laminaridad de los agregados pétreo**

| Capa                           | Índice de laminaridad | Especificación de Nueva Zelanda |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Primera capa agregado tipo "B" | 25,71 %               | ≤ 35%                           |
| Segunda capa agregado tipo "D" | 26,36 %               |                                 |
| Tercera capa agregado tipo "E" | 24,06 %               |                                 |

**Fuente:** Elaboración propia.

Es importante no tener índices de laminaridad muy elevados ya que estos tienden a acostarse con su cara plana y quedan sumergidos en el ligante durante la construcción y bajo los efectos de tensión de tráfico se rompen fácilmente y produce una exudación a corto plazo.

### 3) Análisis de cara fracturadas

El resultado obtenido en laboratorio con respecto a lo que nos determina la norma IRAN 1851 se encuentra por encima del límite especificado esto se debe a que el peso de las partículas de los agregados retenidos en los cortes de tamices (1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4") en su totalidad es material chancado que se evidencia en la granulometría de partículas fracturadas esto se debe a que el material adquirido no consta de mucho agregado natural ya que paso previamente por un proceso de chancado y así garantizar el resultado..

**Tabla 4.63: Resultado de porcentaje de caras fracturadas**

| Resultado obtenido | Especificación IRAN 1851 |
|--------------------|--------------------------|
| 83,70 %            | ≥ 75 %                   |

**Fuente:** Elaboración propia.

Debido al predominio del agregado chancado podremos garantizar un mejor inter trabado que favorecerá la estabilidad del tratamiento y a un mejor recubrimiento de los agregados con el asfalto diluido.

### 4) Análisis al desgaste a los sulfatos

Es un ensayo de alteración que simula las condiciones naturales que será sometido nuestro agregado a la hora de entrar en servicio, dando como resultado en la siguiente tabla.

**Tabla 4.64: Resultados al desgaste de sulfatos**

| <b>Agregado</b>   | <b>Desgaste a los sulfatos</b> | <b>Especificación AASHTO</b> |
|-------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Agregado tipo "B" | 1,20 %                         | ≤12 %                        |
| Agregado tipo "D" | 1,02 %                         |                              |

**Fuente:** Elaboración propia.

Como podemos evidenciar el desgaste a los sulfatos de nuestro agregado es mínima con respecto a la especificación del manual de la ABC esto se debe a que la solución salina solo llega a generar mayor desgaste en agregados que posean en su estructura interna mayor distribución de vacío es decir un agregado poroso, esto es bueno ya que con el resultado obtenido el cual es mínimo estamos determinando que nuestro agregado no es poroso y a la hora de entrar en función nuestro tratamiento superficial no se genera pérdida considerables por procesos de cristalización, hidratación y a los efectos adversos que produzca el clima sobre el mismo.

#### **5) Análisis al desgaste de los ángeles**

Observando la tabla podemos notar que los resultados del desgaste de ambos agregados pétreos cumplen satisfactoriamente la especificación del manual de la ABC esto se debe a la presencia de gravas de un tamaño de 19 mm a 9.5 mm para el agregados pétreo tipo "B" y un tamaño de 9.50 mm a 4,75 mm para agregado pétreo tipo "D", como se puede constatar en la granulometría siendo estas un material chancado de forma angular no porosa poseyendo una mayor estructura sólida ofreciendo una mayor resistente al rozamiento de las partículas con las esferas de acero.

**Tabla 4.65: Resultados al desgaste de los ángeles**

| <b>Agregado</b>   | <b>Desgaste a los ángeles</b> | <b>Especificación AASHTO</b> |
|-------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Agregado tipo "B" | 24,59 %                       | < 40 %                       |
| Agregado tipo "D" | 25,12 %                       |                              |

**Fuente:** Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos garantizamos que nuestro agregado tiene la suficiente capacidad de resistencia al proceso de desgaste que producen las fuerzas trituradoras de

los equipos en obra y la acción abrasiva del tráfico a la que será sometido nuestro tratamiento superficial.

### 4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO DEL ASFALTO DILUIDO

#### a) Punto de inflamación

Los resultados obtenidos en laboratorio están reflejados en la siguiente tabla donde los mismos cumplen con las especificaciones del manual de la ABC - AASHTO.

**Tabla 4.66: Resultados de punto de inflamación**

| Tipo                   | Resultado | Especificación AASHTO |
|------------------------|-----------|-----------------------|
| Asfalto diluido MC-70  | 40 °C     | ≥ 38 °C               |
| Asfalto diluido MC-800 | 87 °C     | ≥ 66°C                |

**Fuente:** Elaboración propia.

Los resultados del punto de inflamación del asfalto diluido MC-70 nos indican que, al tener mayor cantidad de solvente, provocan que el punto de inflamación se encuentre a una menor temperatura con respecto del asfalto diluido MC-800. Esto es atribuible a que el solvente utilizado (kerosene) es un compuesto muy volátil al contacto con altas temperaturas.

#### b) Ductilidad

En cuanto a la ductilidad el asfalto diluido MC-70 está cumpliendo la especificación, pero al límite esto se debe al tener mayor porcentaje de solvente en su composición, se reduce su viscosidad y por lo tanto hace que el asfalto diluido pierda plasticidad y elasticidad.

**Tabla 4.67: Resultados de ductilidad del residuo asfáltico**

| Tipo                   | Resultado | Especificación AASHTO |
|------------------------|-----------|-----------------------|
| Asfalto diluido MC-70  | 101 cm    | ≥ 100 cm              |
| Asfalto diluido MC-800 | 103 cm    | ≥ 100 cm              |

**Fuente:** Elaboración propia.

### c) Penetración

Los resultados del ensayo de penetración a 25 °C muestran, que la adición de mayor cantidad de solvente nuestro asfalto diluido MC-70 es mucho más fluido, produciendo un aumento de la penetración con respecto al asfalto diluido MC-800. Este aumento de la penetración nos da a entender una disminución de la consistencia del MC-70, proporcionándonos un asfalto más líquido a una misma temperatura. Esta disminución de la consistencia y grado de dureza se puede atribuir a la interacción del solvente con el ligante.

**Tabla 4.68: Resultado de penetración del residuo asfáltico**

| <b>Tipo</b>            | <b>Resultado</b> | <b>Especificación AASHTO</b> |
|------------------------|------------------|------------------------------|
| Asfalto diluido MC-70  | 221 mm           | (120-250) mm                 |
| Asfalto diluido MC-800 | 135 mm           |                              |

**Fuente:** Elaboración propia.

### d) Adherencia asfalto diluido – agregado

El ensayo de adherencia asfalto diluido - agregado es un aporte propio al trabajo de investigación ya que es muy importante saber el porcentaje de adherencia que poseen los asfaltos diluidos MC-800 y MC-70 al modificar la viscosidad de la misma donde los resultados obtenidos se expresan en la siguiente tabla.

Se puede apreciar en los resultados que el asfalto diluido MC-70 tiene una menor adhesión con el agregado bajo la acción del agua esto se debe que al tener menor viscosidad nuestro asfalto diluido es más fluido por lo tanto al poseer menos propiedades de elasticidad, plasticidad y consistencia hace que en la prueba las partículas de asfalto diluido hayan quedado flotando en la lámina del agua.

**Tabla 4.69: Resultados de adherencia asfalto diluido-agregado**

| <b>Tipo</b>            | <b>Resultado</b> |
|------------------------|------------------|
| Asfalto diluido MC-70  | 94 %             |
| Asfalto diluido MC-800 | 98 %             |

**Fuente:** Elaboración propia.

#### **4.4 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL MATERIAL BITUMINOSO USADOS PARA EL DISEÑO DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL POR EL MÉTODO DE MC LEOD**

##### **1. El factor de desperdicio (E)**

Se asumió que en el proyecto se tendrá un porcentaje de pérdida de 1 % del agregado dando como factor de desperdicio ( $E = 1$ ), valor asumido donde consideramos que en el proyecto no se tendrá pérdidas significativas de material por el transporte, manipuleo del mismo.

##### **2. Factor de tránsito (T)**

El factor de tráfico utilizado en el diseño del tratamiento superficial es de  $T = 0,75$  cuyo valor depende del tráfico de diseño del proyecto que es 100 a 500 vehículos por día (tráfico liviano) el cual es el más recomendado por las bibliografías.

Si se diseñaría el tratamiento con tráfico menor a 100 vehículos por día no se podría garantizar el rellenado de los vacíos con el asfalto diluido debido que los tratamientos superficiales son de penetración invertida.

Si el tratamiento se diseña con un tráfico mayor a 700 vehículos por día se podría generar el afloramiento del asfalto diluido prematuramente.

##### **3. Corrección por absorción del agregado (A)**

El valor asumido en corrección por absorción del agregado es ( $A = 0$ ), tomamos este criterio debido a que la absorción de asfalto diluido será casi nula dentro de las partículas del agregado pétreo siendo este un material no poroso, esta corrección solo se lo puede hacer para agregados pétreos muy porosos.

##### **4. Corrección por textura superficial (S)**

La corrección de por textura de igual manera tomamos un valor de ( $S = 0$ ), debido a que los tratamientos son emplazados sobre pavimentos deteriorados o sobre bases imprimas de textura cerrada.

El cálculo se debe realizar para cada capa del tratamiento superficial triple considerando los parámetros y factores del agregado y del asfalto diluido que se va emplear.

#### 4.5 ANÁLISIS TÉCNICO

Para el análisis técnico se escogió las cantidades de materiales obtenidos por el método Mc Leod debido a que es el método utilizado en nuestro país para el diseño de tratamientos superficiales. Este diseño contempla varios parámetros como ser el tamaño medio del agregado, peso unitario, peso específico del agregado, índice de laminaridad, factor de tránsito, factor de desperdicio, corrección por absorción del agregado y corrección por textura superficial que garantiza un mejor cálculo de las cantidades de materiales por metro cuadrado a diferencia de otros métodos como el Bélgica, Linkenhey que son métodos empíricos poco confiables que solo utilizan el tamaño medio del agregado en su diseño

**Tabla 4.70: Cantidades de asfalto diluido y agregado para cada capa del tratamiento**

| Aplicación        | Asfalto diluido                |                               | Agregado           |
|-------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------|
|                   | Mc Leod<br>MC-800<br>(ltrs/m2) | Mc Leod<br>MC-70<br>(Ltrs/m2) | Mc Leod<br>(Kg/m2) |
| Primera capa      | 1,408                          | 1,832                         | 19,248             |
| Segunda capa      | 0,777                          | 1,011                         | 9,962              |
| Tercera capa      | 0,444                          | 0,578                         | 5,148              |
| <b>Total A. D</b> | <b>2,629</b>                   | <b>3,421</b>                  |                    |
| <b>TOTAL R. A</b> | <b>2,156</b>                   | <b>2.155</b>                  |                    |

**Fuente:** Elaboración propia.

Las cantidades de materiales obtenidos en el diseño del tratamiento superficial triple con asfalto diluido MC-800 y MC-70 según Mc Leod nos recomienda una vez obtenido el total del asfalto diluido utilizado en el tratamiento, 30% se utilizará para el primer riego, 40 % para el segundo y 30 % en el tercer. Donde las cantidades para cada capa se presentan en las siguientes tablas.

**Tabla 4.71: Distribución de asfalto diluido MC-800 por porcentaje para cada capa del tratamiento según Mc Leod**

| Aplicación   | Asfalto Diluido MC-800                         | Agregado Pétreo          |
|--------------|--|--------------------------|
| Primera capa | 30 % de MC- 800 (Ltrs/m <sup>2</sup> ) = 0,788 | 19,248 kg/m <sup>2</sup> |
| Segunda capa | 40 % de MC- 800 (Ltrs/m <sup>2</sup> ) = 1,052 | 9,962 kg/m <sup>2</sup>  |
| Tercera capa | 30 % de MC- 800 (Ltrs/m <sup>2</sup> ) = 0,789 | 5,391 kg/m <sup>2</sup>  |

**Fuente:** Elaboración propia.

A la hora de diseñar el tratamiento superficial con asfalto diluido MC-800 se creía que en este diseño se iba a tener mayores cantidades de asfalto diluido con respecto al diseño con asfalto diluido MC-70.

Esta idea se daba por las proporciones de cemento asfáltico y solvente que poseen ambos asfaltos donde para el MC-800 tiene un 82 % de cemento asfáltico y un 18 % de solvente, mientras que su similar el MC-70' tiene un 63 % de cemento asfáltico y un 37 % de solvente, haciendo entre ver que por los porcentajes de cemento asfáltico de ambos diseños el MC-800 iba a tener mayor cantidad de asfalto diluido.

**Tabla 4.72: Distribución de asfalto diluido MC-70 por porcentaje para cada capa según del tratamiento según Mc Leod**

| Aplicación   | Asfalto Diluido MC-70                         | Agregado Pétreo          |
|--------------|---|--------------------------|
| Primera capa | 30 % de MC- 70 (Ltrs/m <sup>2</sup> ) = 1,026 | 19,248 kg/m <sup>2</sup> |
| Segunda capa | 40 % de MC- 70 (Ltrs/m <sup>2</sup> ) = 1,368 | 9,962 kg/m <sup>2</sup>  |
| Tercera capa | 30 % de MC- 70 (Ltrs/m <sup>2</sup> ) = 1,026 | 5,391 kg/m <sup>2</sup>  |

**Fuente:** Elaboración propia.

Pero a la hora de realizar el cálculo de las cantidades de asfalto diluido que se necesitara para ambos diseños podemos observar que las cantidades de asfalto diluido del diseño con asfalto diluido MC-70 son mayores respecto a las cantidades del asfalto diluido MC-800 esto se da a la presencia en mayor cantidad del kerosene.

Esta mayor cantidad de kerosene hace que el cemento asfáltico disminuya su viscosidad haciéndolo más fluido y más trabajable a la hora de ponerlo en obra, esto beneficiará a que el asfalto diluido llegue a llenar todos los vacíos que pueda haber entre los agregados pétreos pero por tener una viscosidad demasiado baja no garantiza que haya una buena adherencia entre asfalto diluido-agregado debido a la baja elasticidad y plasticidad generando una mala estructura que no será cohesiva y compacta generando desprendimiento de partículas de agregado al paso de los vehículos.

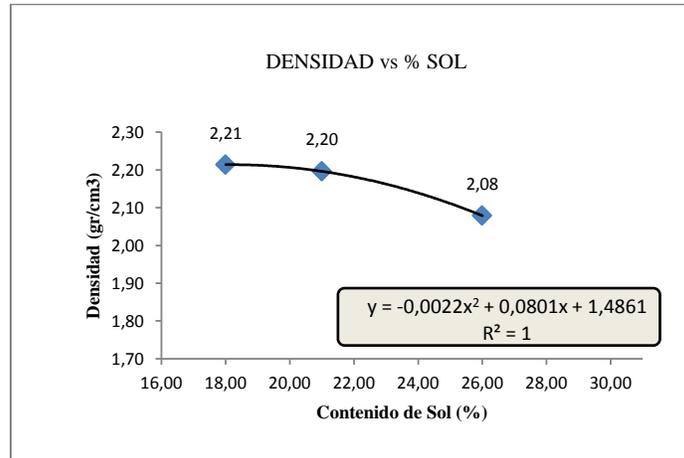
Mientras que al asfalto diluido MC-800 por la presencia en menor cantidad de solvente su viscosidad es mucho más elevada por lo tanto se necesitará menor cantidad de asfalto diluido para el diseño del tratamiento superficial, pero debemos tener en cuenta que al ser más viscoso (menos fluido) el asfalto diluido MC-800 será menos trabajable, pero se garantizará mejores propiedades aglomerantes por lo tanto una buena adherencia y cohesión entre asfalto diluido-agregado.

En conclusión, se puede determinar que mientras menor sea la viscosidad, más fluido será nuestro asfalto diluido y por lo tanto mayor cantidad de asfalto diluido se deberá utilizar en las capas del tratamiento en el diseño y si nuestro asfalto diluido sea más viscoso menos fluido, menor será la cantidad de asfalto diluido que llegaremos a utilizar en los distintos trabajos donde se empleen los asfaltos diluidos.

#### 4.6 ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE MEDIANTE EL METODO MARSHALL

A continuación, se detalla un análisis de los resultados:

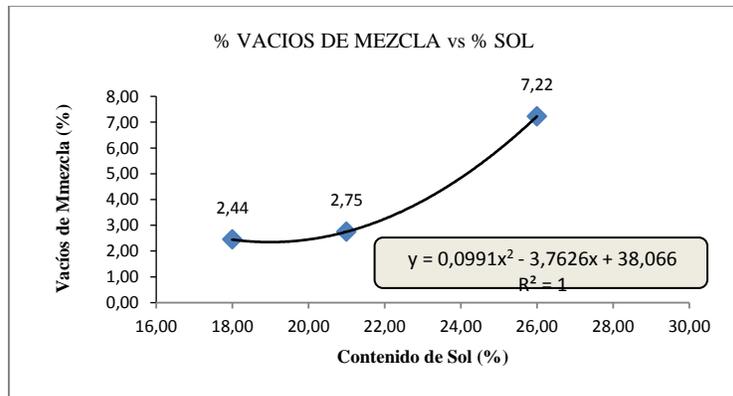
**Figura 4.44: Densidad vs porcentaje de solvente**



**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura de la densidad podemos observar que la densidad del tratamiento superficial triple al ir incrementando la cantidad de solvente kerosene empieza a disminuir, y esto se da porque nuestro asfalto diluido al tener mayor porcentaje solvente el mismo se hace más fluido y genera que haya más vacíos con el agregado que hace que las densidades vayan disminuyendo.

**Figura 4.45: Porcentaje de vacíos vs porcentaje de solvente**

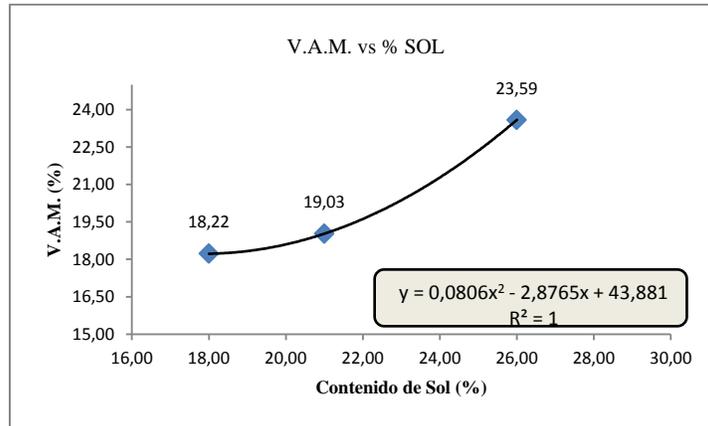


**Fuente:** Elaboración propia.

Como podemos observar en la figura 4.46 el porcentaje de vacíos del tratamiento va incrementando a medida que se va aumentando el porcentaje de solvente en el asfalto diluido y esto se está originando debido a la ausencia de agregado fino y al tener nuestro

asfalto diluido con mayores concentraciones de solvente haciendo que nuestro asfalto diluido disminuya su viscosidad y que pierda propiedades de adherencia con los agregados pétreos y se genere pérdida de material.

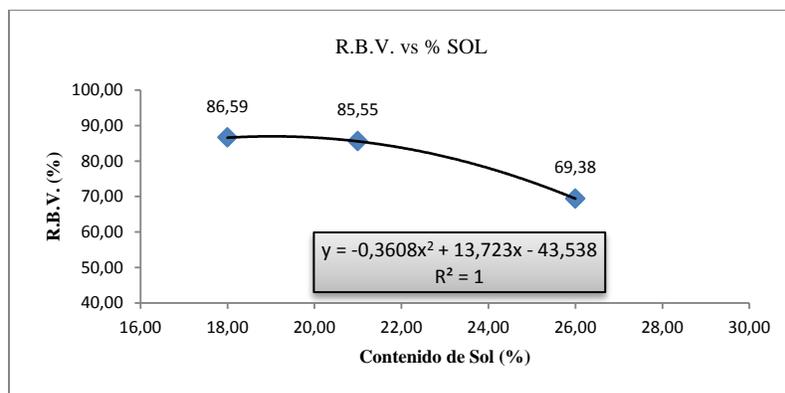
**Figura 4.46: Vacíos del agregado mineral vs porcentaje de solvente**



**Fuente:** Elaboración propia.

Se puede apreciar en la figura 4.47 que los vacíos en el agregado mineral (V.A.M), van incrementándose a medida que aumenta solvente en el asfalto diluido y esto se debe que al contener mayor solvente en el asfalto diluido el mismo se vuelve un asfalto diluido más fluido y esto hace que se tenga mayor cantidad de aire entre las partículas del agregado del tratamiento superficial triple compactado.

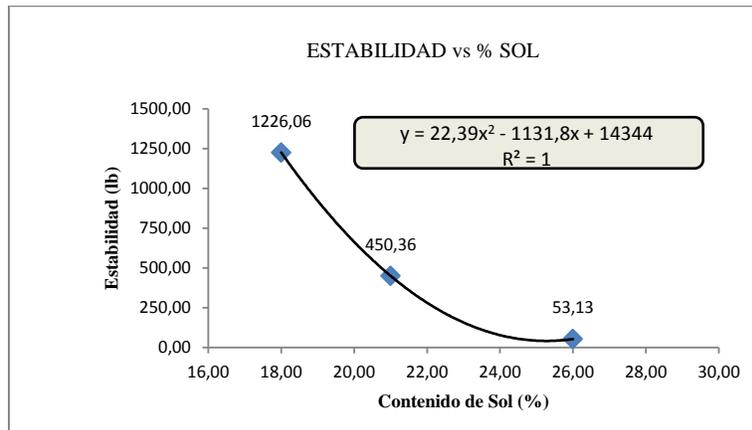
**Figura 4.47: Relación de betún vacíos vs porcentaje de solvente**



**Fuente:** Elaboración propia

Podemos apreciar en la figura 4.48 de relación betún vacíos podemos ver una curva descendente a mayor cantidad de solvente esto nos indica que a manera que se incrementa del solvente existe mayor cantidad de aire en el asfalto diluido.

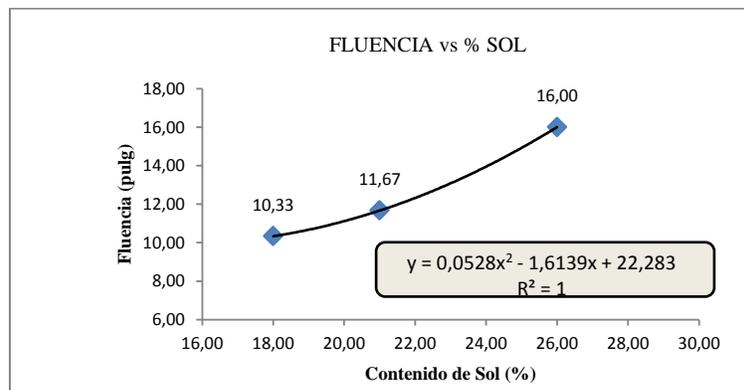
**Figura 4.48: Estabilidad vs porcentaje de solvente**



**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 4.49 notamos una curva descendente de la estabilidad a mayor presencia de solvente haciendo que el tratamiento superficial triple con asfalto diluido con mayor cantidad de solvente en su consistencia llegue a perder de gran manera resistencia al desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito.

**Figura 4.49: Fluencia vs porcentaje de solvente**



**Fuente:** Elaboración propia.

Se aprecia en la figura 4.50 que la curva de fluencia tiende a subir debido al incremento de solvente en el asfalto diluido, esto genera que el tratamiento superficial triple con mayor presencia de solvente en el asfalto diluido tiende a presentar mayor deformación a la hora de aplicación de la carga en el ensayo de la estabilidad.

Se quiere poner en conocimiento que solo se pudo realizar el ensayo y análisis de tres grupos briquetas los cuales contenían 18 %, 21%, 26% solvente en su dosificación. Donde los otros dos grupos de briquetas con 31% y 37% solvente no se pudo realizar el ensayo de Marshall debido que al ser asfaltos diluidos muy fluidos de baja viscosidad no se logró generar una adherencia cohesiva y compacta con los agregados usados en el tratamiento generando desmoronamiento del material después del desmoldamiento. Se adjunta fotografías.

**Imagen 3.22: Briquetas con distintos % de solvente**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Imagen 3.23: Mala adherencia del agregado con un asfalto diluido con alta concentración de solvente**



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

Los costos unitarios del diseño de un tratamiento superficial triple con asfalto diluido MC-800 y MC-70 que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4.73: Costo del tratamiento superficial triple con ambos asfaltos diluidos**

| Tipo  | Costo Bs/m2 |
|---|-------------|
| Tratamiento superficial triple – Asfalto diluido MC-70  | 57,838      |
| Tratamiento superficial triple – Asfalto diluido MC-800 | 55,148      |

**Fuente:** Elaboración propia.

En donde podemos constatar la variación de costos de un tratamiento con respecto al otro se da por la cantidad de kerosene que componen el tratamiento superficial triple para un metro cuadrado, en donde se observa que un tratamiento con asfalto diluido MC-800 es más económico con una diferencia de 2.690 bs debido a que requiere menor cantidad de kerosene para disminuir su viscosidad como podemos observar en la siguiente tabla.

**Tabla 4.74: Cantidad de material para cada tratamiento superficial triple**

| Material por m2          |        |   |  |
|--------------------------|--------|---|--|
| Material                 | Unidad | T. superficial triple – Asfalto diluido MC-70 | T. superficial triple – Asfalto diluido MC-800 |
| Cemento asfáltico        | Ltrs   | 2,155   | 2,155  |
| kerosene                 | Ltrs   | 1,266   | 0,473  |
| Agregado pétreo tipo “B” | m3     | 0,01301                                       | 0,01301  |
| Agregado pétreo tipo “D” | m3     | 0,00710                                       | 0,00710  |
| Agregado pétreo tipo “E” | m3     | 0,00396                                       | 0,00396  |

**Fuente:** Elaboración propia.

Respecto al costo de los agregados tipo “B” a 140 Bs/m3, agregado tipo “D” y “E” a 160 Bs/m3, serán los mismos en ambos diseños debido a que se utilizará el mismo tipo de agregado pétreo por lo tanto los precios unitarios de estos no varían.

#### 4.8 ANÁLISIS COMPARATIVO

A la hora de decidir el tipo de asfalto diluido que se usará para el diseño de un tratamiento superficial, se debe considerar tanto el costo y las propiedades de cada uno de los asfaltos diluidos además consideraremos también las ventajas y desventajas de ambos asfaltos diluidos.

**Tabla 4.75: Ventajas y desventajas del asfalto diluido MC-800**

| Ventajas   | Desventajas  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Diseño más económico</li><li>• Menor cantidad de solvente</li><li>• Mayor temperatura de inflamación</li><li>• Mejor adherencia entre asfalto y agregado</li><li>• Mejor consistencia</li><li>• Menos tóxico para el medio ambiente</li><li>• Consta de una buena elasticidad y plasticidad</li><li>• Mayor resistencia a las cargas</li><li>• Menor deformación</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mayor temperatura de aplicación (90-100 °C)</li><li>• Consistencia menos fluida</li><li>• Menor trabajabilidad</li></ul> |

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.76: Ventajas y desventajas del asfalto diluido MC-70**

| <b>Ventajas</b>   | <b>Desventajas</b>   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Menor temperatura de aplicación (70-80 °C)</li><li>• Mayor trabajabilidad</li><li>• Consistencia más fluida</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Mayor cantidad de solvente</li><li>• Diseño más caro</li><li>• Baja plasticidad y elasticidad</li><li>• Mayor contaminación ambiental</li><li>• Menor adherencia con el agregado</li><li>• Baja consistencia</li><li>• Lento proceso de curado</li><li>• Menor temperatura de inflamación</li><li>• Cero resistencias</li><li>• Excesiva deformación</li></ul> |

**Fuente:** Elaboración propia.

En este trabajo de investigación podemos identificar claramente la importancia que tiene la viscosidad de los asfaltos diluidos a la hora de aplicar su uso en los tratamientos superficiales, llegando a determinar propiedades físico mecánicas y aglomerantes como la adherencia, plasticidad, elasticidad, temperatura de inflamación y consistencia entre los dos tipos de asfalto diluido.

Concluyendo que el diseño de un tratamiento superficial triple con asfalto diluido MC-800 es el más idóneo en criterios económico y técnicos con respecto del asfalto diluido MC-70 por presentar mejores características en su diseño.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se evidenció que la viscosidad de un asfalto diluido llega a tomar un rol muy importante tanto en el diseño y el costo de un tratamiento superficial triple.
- Se llegó a determinar que la variación de la viscosidad de un asfalto diluido genera efectos directos en el residuo asfáltico que resulta del proceso de curado de un asfalto diluido haciendo que los mismo disminuyan y pierdan propiedades de elasticidad, plasticidad, consistencia y adherencia.
- Se determinó que la viscosidad de un asfalto diluido llega a variar de acuerdo a la cantidad de solvente que contenga el mismo haciendo que este asfalto disminuya viscosidad a medida que se va aumentando el solvente.
- Realizando la comparación entre los asfaltos diluidos MC-70 y MC-800, tanto de las propiedades del residuo asfáltico, parámetros físicos mecánicos y el costo determinamos que el asfalto diluido MC-800 es la mejor opción para el diseño del tratamiento superficial triple ya que presento mejores resultados en los análisis realizados tanto en laboratorio como en el diseño del mismo.
- No se pudo realizar el ensayo del tratamiento superficial triple por el método Marshall con las briquetas que contenían 31%, 37% de solvente en su dosificación, ya que las mismas generaban un asfalto diluido con muy baja viscosidad que hacía imposible la adherencia del asfalto diluido con el agregado la cual producía un desmoronamiento de las partículas de agregado que evitaron la realización del ensayo.
- Se determinó tanto parámetros físicos como mecánicos donde concluimos de acuerdo a los ensayos realizados, que a mayor cantidad de solvente en la dosificación de un asfalto diluido nuestro tratamiento superficial va perdiendo propiedades de estabilidad y paralelamente se genera mayor deformabilidad.
- Se debe garantizar la uniformidad de tamaños en los agregados ya que si existe una diferencia de tamaños las partículas más grandes y el de las más pequeñas la película de asfalto diluido puede llegar a cubrir totalmente las partículas pequeñas

y no conseguir el embebido apropiado de las más grandes generando que las mismas se desprendan al paso de los vehículos.

- El espesor del tratamiento superficial triple será igual al tamaño máximo nominal del agregado tipo “B” de la primera capa el cual es 19 mm.
- La temperatura de riego en obra del asfalto diluido MC-70, es de 70 °C a 80 °C, mientras que del asfalto diluido MC-800 es a una temperatura de 90°C a 100 °C.
- El tiempo de emplazamiento de un tratamiento superficial triple usando asfalto diluido es de 3 días ya que el proceso de curado de cada capa del tratamiento superficial triple dura 24 horas.
- Los tratamientos superficiales en la actualidad son una alternativa para una red departamental o municipal donde el tráfico es mediano o liviano.
- Una gran desventaja de trabajar con los asfaltos diluidos en la actualidad es que producen consecuencias ambientales ya que una vez regado se genera el proceso de evaporación del solvente que se denomina curado, donde el 80% del solvente se emite a la atmosfera como gas volátil contaminante.
- El diseño se lo realiza para una vida útil de 15 años, considerando que el TPDA (Tráfico promedio diario de automóviles) es de 100 a 500 automóviles.
- Se realizó la presente investigación con el fin de poder proporcionar mayor información tanto técnica y económicamente al ingeniero que trabaje con los asfaltos diluido para que el mismo tenga un punto de partida a la hora de decidir qué tipo de asfalto diluido utilizar en un proyecto.
- En la siguiente tabla se presenta las tasas de riego tanto del asfalto diluido como del agregado pétreo que se necesitará en el tratamiento superficial triple.

**Tasa de riego de un tratamiento superficial triple con asfalto diluido MC-800**

| <b>Capa del tratamiento</b> | <b>Cantidad de asfalto diluido Mc-800 (Ltrs /m2)</b> | <b>Cantidad de agregado pétreo (kg /m2)</b> |
|-----------------------------|--|---|
| Primera capa                | 0,788  | 19,248                                      |
| Segunda capa                | 1,052  | 9,962                                       |
| Tercera capa                | 0,789  | 5,391                                       |

**Tasa de riego de un tratamiento superficial triple con asfalto diluido MC-70**

| <b>Capa del tratamiento</b> | <b>Cantidad de asfalto diluido Mc-70 (Ltrs /m2)</b> | <b>Cantidad de agregado pétreo (kg /m2)</b> |
|-----------------------------|---|---|
| Primera capa                | 1.026   | 19,248                                      |
| Segunda capa                | 1,368   | 9,962                                       |
| Tercera capa                | 0,780   | 5,391                                       |

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Es muy importante respetar las especificaciones técnicas en los ensayos, cuando se va a trabajar con cemento asfáltico, sobre todo en las temperaturas de realización de las pruebas ya que si se tiene una variación de la misma los resultados saldrán mal.
- Se recomienda utilizar un solvente distinto al kerosene para los asfaltos diluidos debido a que en la actualidad en el país ya no queda muchas reservas de dicho elemento y se hace complicado la obtención del mismo.
- A la hora de realizar el mezclado del cemento asfáltico con el kerosene se debe realizar un mezclado constante y uniforme hasta que el solvente se distribuya homogéneamente en el cemento asfáltico.
- Medir de manera exacta el porcentaje de solvente que se pondrá al cemento asfáltico ya que una falla en este paso puede llegar a alterar los resultados en las pruebas de laboratorio.
- Para los ensayos de calidad de los agregados, cemento asfáltico y asfalto diluido, es muy importante obtener una muestra representativa, de no ser así, se podrían tener problemas para el diseño y por ende en la construcción.
- Utilizar guantes de cuero, barbijo, bata de laboratorio al momento de estar en contacto con equipos como la cocina, horno, los equipos inflamables
- No se debe sobre calentar la muestra de cemento asfáltico demasiado tiempo ya que al exceder el tiempo de calentamiento se genera una espuma que perjudica a la hora de realizar los ensayos.
- A la hora de realizar el desmoldamiento de las briquetas realizadas con asfalto diluido con 18%, 21% y 26 % de solvente se debe enfriar a temperatura ambiente como un mínimo 45 minutos.
- Seleccionar agregados pétreos para un tratamiento superficial de forma más cúbica y menos laminar ya que se garantiza una mejor estabilidad del tratamiento superficial triple.
- Se recomienda realizar el diseño de un tratamiento superficial con emulsión asfáltica debido a la importancia que está tomando en la actualidad en el diseño y construcción de carreteras ya que es un material no contaminante y nos permite la

rápida liberación al tráfico debido a que su proceso de curado tarda 12 horas el cual es el 50 % más rápido respecto a un asfalto diluido de curado medio.

- Según los resultados obtenidos del asfalto diluido MC-70 se recomienda que se haga un trabajo de investigación del mismo, pero ya no en la aplicación de tratamientos superficiales sino como un material de imprimación por la baja viscosidad que posee,