

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN.

Los pavimentos asfálticos están compuestos de dos materiales: asfalto y agregado pétreo. Hay muchos tipos de asfalto y muchos tipos de agregados pétreos. En consecuencia, es posible construir diferentes tipos de pavimentos asfálticos.

Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes. Ellos son: Viscosidad, viscosidad después de envejecimiento y penetración. Las propiedades físicas del asfalto de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: Durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinaciones en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente el desempeño de la misma como pavimento terminado. El método de diseño más utilizado hasta el momento en Bolivia es el método Marshall.

Las características y el comportamiento de la mezcla de una muestra de pavimentación preparada en el laboratorio pueden ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis enfocado hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento. Las características son: Densidad de la mezcla, vacíos de aire o simplemente vacíos, vacíos en el agregado mineral y contenido de asfalto.

El tratamiento asfáltico superficial es un término o denominación muy amplia que abarca diversas aplicaciones de asfalto y asfalto-agregado, generalmente de espesor menor a 2.5 cm., a cualquier clase de superficie de carretera construido adecuadamente, los tratamientos superficiales son económicos, fáciles de colocar y de larga duración. Por impermeabilización de la base hacen que esta tenga un soporte adecuado, aunque de por sí los tratamientos dan poca resistencia estructural a los pavimentos.

Tratamiento superficial múltiple son dos o más tratamientos superficiales colocados uno encima de otro. El tamaño máximo del agregado de cada tratamiento sucesivo es corrientemente la mitad del agregado colocado previamente, y el espesor total es casi el mismo que el 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 2.5 cm., o más. Un tratamiento múltiple, es una capa más densa e impermeabilizante que una capa simple y que proporciona alguna resistencia.

En esta investigación se va comparar entre una carpeta asfáltica y un doble tratamiento triple, este procedimiento del doble tratamiento triple se realizará en un ingreso a un garaje de tráfico mediano – liviano, la forma de procedimiento será colocar primero un tratamiento superficial triple y pasar movilidades para simular la compactación en un tramo real, después de un tiempo y observando el comportamiento de esa capa se colocará la siguiente capa de tratamiento superficial triple para continuar con el mismo procedimiento por un tiempo, para luego extraer núcleos de esa superficie y evaluarla a través del método para determinar la resistencia plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall (estabilidad, fluencia, los vacíos, el V.A.M.). La comparación se la realizara con una carpeta asfáltica diseñada según el método Marshall y ensayada en laboratorio, 75 golpes por lado para la compactación para encontrar el contenido óptimo de asfalto y que cumplan las características principales como la estabilidad, fluencia, los vacíos y el V.A.M. Luego de que el diseño se evalúe y realice un diseño final se la construirá en el ingreso del garaje y se utilizará una metodología de preparación, colocación y compactación como si fuera un bache.

En nuestro medio existen varias carretas que han sido construidas con tratamiento superficiales y que por el crecimiento paulatino del tráfico vehicular muchas están presentando algún tipo de falla o en algún futuro próximo se las podrán apreciar, es decir que su tiempo de vida útil se va reducir más rápido de lo diseñado.

En el proyecto de investigación estará enfocado en este tipo de problemática, qué solución económica y técnica se deberá asumir, o qué medidas se podrán tomar para una mejor

inversión económica de los recursos departamentales ya que esto es un gran problema en nuestro medio.

1.2. JUSTIFICACIÓN.

En nuestro medio el uso de tratamientos superficiales con agregados es una alternativa común para la realización de una carpeta de rodadura, esto debido a que un tratamiento superficial es más económico que realizar una carpeta de rodadura mediante mezclas en caliente, estos últimos son más caros y de mayor duración; para nuestro medio local es difícil poder realizarlos en todas nuestras carreteras. Es por eso que la utilización de un tratamiento superficial con agregados suele ser una buena alternativa para dar solución a algún tramo carretero; tanto por su costo accesible a nuestro medio, son fáciles de colocar y, además, un tratamiento superficial bien ejecutado, tiene una larga duración de vida si se realiza los mantenimientos correspondientes. Y qué pasaría si se puede colocar otra capa de tratamiento superficial por encima de la ya existente, el fin de la investigación determinará y evaluará algunas de las características más relevantes de dicha capa de rodadura.

Una ventaja de nuestro medio, es que se cuenta con bancos de material para los agregados tanto naturales o para su trituración (chancado), que deberán conformar una mezcla asfáltica.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.3.1. Situación problemática.

El problema principal de los pavimentos en Bolivia es la mala administración de recursos y la no adecuada ejecución por parte de las empresas involucradas, además de esto es la escasa información o los escasos proyectos de investigación que involucran a un tratamiento superficial triple y una carpeta asfáltica en caliente.

1.3.2. Problema.

La escasa investigación que existe para la evaluación entre un tratamiento superficial y una carpeta asfáltica en el medio es que conlleva a la realización de esta investigación, ya

que la poca información puede llevar a entender mal los conceptos básicos y no aplicarlos de manera adecuada en el campo del diseño y de la construcción.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.4.1. Objetivo general.

- Comparar económicamente y técnicamente una carpeta asfáltica y un doble tratamiento triple a través del método Marshall para un tráfico mediano.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Diseñar y realizar una mezcla asfáltica en caliente, en base a las normas y especificaciones vigentes en Bolivia.
- Diseñar y realizar un tratamiento superficial triple.
- Simular el comportamiento del TST en el tiempo, con un modelo piloto de tráfico mediano.
- Evaluar el doble tratamiento superficial triple, mediante la extracción de núcleos.
- Evaluar las características, comportamiento y propiedades de la mezcla asfáltica mediante el método de Marshall.
- Comparar económicamente ambos diseños.

1.5. HIPÓTESIS.

Que la comparación entre un doble tratamiento superficial triple es más económica que colocar una carpeta asfáltica convencional, además de esto se podría decir que tendría un aporte de número estructural al momento de realizar el diseño del paquete estructural.

1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES.

1.6.1. Variables independientes y variables dependientes.

Variable dependiente → **Método Marshall**

Variable dependiente dimensión → **Datos de diseño:**

- Análisis del paquete estructural → espesor de la carpeta de rodadura.

- Selección de curva granulométrica.
- Tipo de tráfico (liviano, mediano, pesado) → N° de golpes por lado de compactación:
 - Estabilidad mínima
 - Fluencia (mín. – máx.)
 - % vacíos (mín. – máx.)
 - % VAM (mín. – máx.)

Ensayos: Agregados

- Granulometría AASHTO T 27-99
- Granulometría del filler AASHTO T 37-77
- Peso unitario suelto AASHTO T 19
- Peso específico gruesos AASHTO T 85-91
- Peso específico finos AASHTO T 100
- Desgaste de los Ángeles AASHTO T 96
- Equivalente arena AASHTO T 176
- Caras fracturadas ASTM D 5821
- Índice de laminaridad AASHTO T 142
- Durabilidad de los sulfatos AASHTO T 104
- Límite líquido AASHTO T 89-68

Cemento Asfáltico:

- Peso específico AASHTO T 228
- Viscosidad Saybolt Furol AASHTO T 72
- Ductilidad AASHTO T 54
- Película delgada AASHTO T 240
- Penetración AASHTO T 49-97
- Adherencia AASHTO T 182
- Punto de Ablandamiento AASHTO T 53

Diseño:

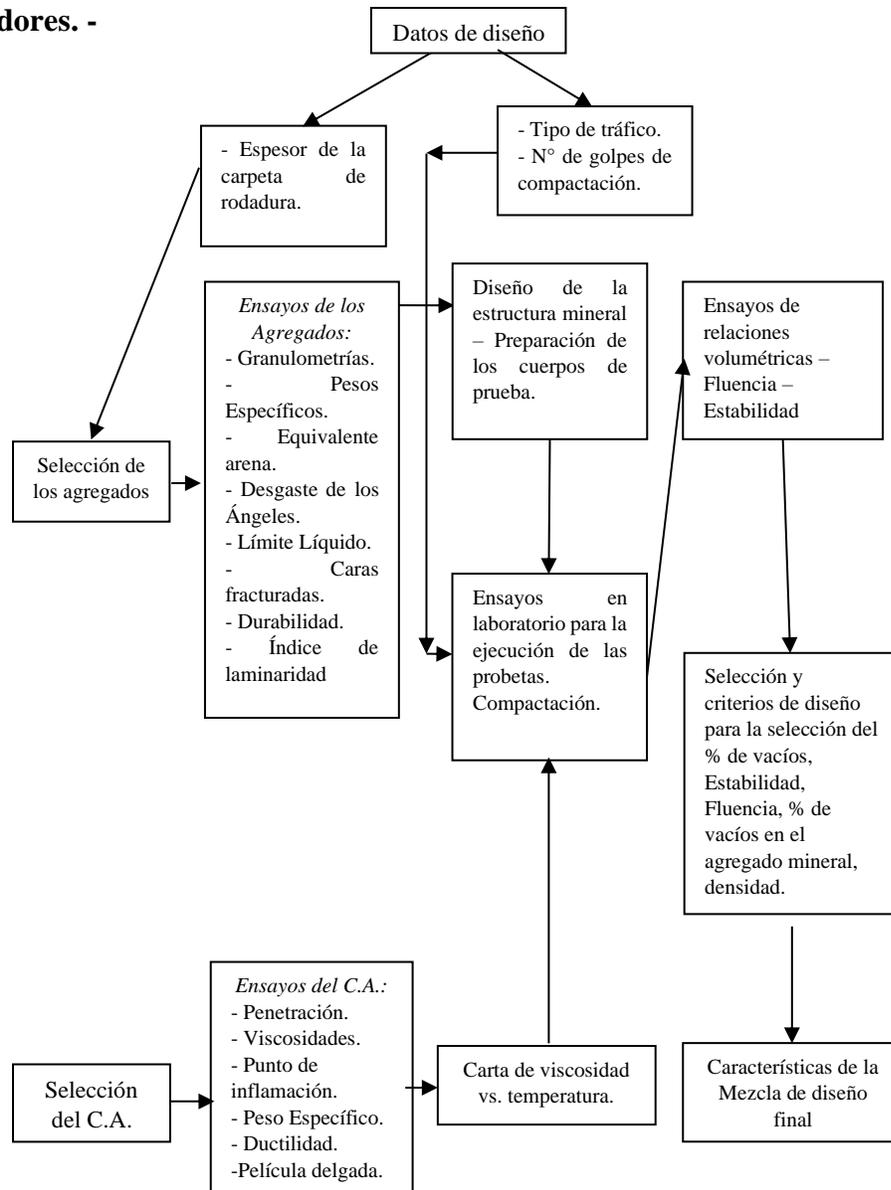
- Contenido de asfalto AASHTO T 164
- Gravedad específica máxima de la mezcla AASHTO T 209

- Gravedad específica Bulk AASHTO T 166
- Elaboración de briquetas, compactación con martillo Marshall, ensayo de estabilidad y fluencia AASHTO T 245-82

Criterios y selección de la mezcla de diseño:

- Estabilidad.
- % de vacíos
- % VAM.
- Fluencia.
- Densidad de la mezcla. -

Indicadores. -



Variable independiente → **Método McLeod (Diseño de tratamiento superficial)**

Variable dependiente dimensión → **Datos de diseño:**

- Análisis del paquete estructural → espesor de la carpeta de rodadura.
- Selección de curva granulométrica de agregados.

Ensayos: Agregados

- Granulometría AASHTO T 27-11
- Peso unitario suelto AASHTO T 19
- Peso específico gruesos AASHTO T 85-91
- Desgaste de los Ángeles AASHTO T 96
- Caras fracturadas ASTM D 5821
- Índice de laminaridad AASHTO T 142
- Durabilidad AASHTO T 104

Emulsión Asfáltica

- Viscosidad Saybolt Furol 50°C AASHTO D 244
- Residuo de la destilación AASHTO D 244
- Ensayos del residuo
- -Penetración a 25°C AASHTO T 49
- Ductilidad a 25°C AASHTO T 51

1.7. DISEÑO METODOLÓGICO.

1.7.1. Componentes.

En el proyecto las muestras que serán evaluadas serán los núcleos de extracción tanto de la carpeta asfáltica como el doble tratamiento superficial triple, estos serán simulados en un terreno donde estén expuestos a una carga vehicular y paso de vehículos. Se evaluará mediante la prensa Marshall siguiendo la metodología propia.

1.7.2. Método y técnicas empleadas.

Para los diseños de la carpeta asfáltica en caliente se utilizará el método Marshall y para el diseño de los tratamientos superficiales se utilizará el método McLeod.

1.7.3. Procedimiento de aplicación.

En la metodología de trabajo se va dividir en 3 partes, en la preparación del terreno de la capa base y el mejoramiento de la capa sub base, la preparación y colocado de la carpeta asfáltica en caliente y el doble tratamiento superficial triple.

1.7.3.1. Sub base mejorada y capa base.

Para la elaboración de la sub base solamente se la hizo un mejoramiento porque ya existía un buen material que cumplía con las especificaciones de una capa sub base, para el cual solo se escarifico una pequeña altura y se le dio una humedad óptima para la compactación, el siguiente paso fue compactar toda la zona de trabajo con un compactador manual como se puede ver en los anexos.

Para la capa base se fue a buscar un banco de préstamo que cumplan las especificaciones técnicas de una capa base, el lugar donde se encontró esta capa base fue en la orilla del camino nuevo de San Isidro – Cruce al Valle, para el cual se llevó a laboratorio para realizar los siguientes ensayos:

- Ensayo de granulometría AASHTO T 27 – 11.
- Ensayo de límite líquido AASHTO T 89 - ASTM D 4318.
- Ensayo de compactación Proctor modificado AASHTO T 180 - A / ASTM D 1557.
- C.B.R. ensayo de valor soporte california AASHTO T 193.

Una vez realizados los ensayos se determinó en gabinete los valores de cada uno de los ensayos y se verificó las especificaciones técnicas de la ABC, una vez verificado esto se pasó a la siguiente etapa, de preparar el material necesario para toda el área donde se va a realizar la carpeta asfáltica y el doble tratamiento triple, para el cual la altura de la capa base es de 20 cm. y se empezó a darle humedad optima a toda la muestra (previamente pesada) con el valor obtenido del Proctor T 180, ya estando con la humedad óptima se lo dejó reposar toda la muestra.

Al día siguiente se empezó la compactar con capas de 4 a 5 cm. con un apisonador manual como se ve en los anexos, hasta llegar a una altura de 20 cm de capa base, y una vez

culminado esta etapa se realizó una densidad in situ en el costado del lugar donde se realizará la carpeta asfáltica y el tratamiento superficial.

1.7.3.2. Metodología para realizar pavimentos de concreto asfáltico in situ.

1. **Colocación de dispositivos de control de tránsito.** Es una operación importante porque permite ofrecer al grupo de trabajo mayor seguridad y tranquilidad para desempeñar la puesta en obra de la carpeta asfáltica, por otro lado, permite que los conductores tengan precaución necesaria evitando de esta manera accidentes fatales.

Se coloca vallas, conos o señales.

2. **Inspección y demarcación.** Se deberá barrer con una escoba la zona donde se colocará la carpeta asfáltica y con la ayuda de una tiza se deberá demarcar el área a trabajar, para que el área de trabajo sea de una forma uniforme se colocará un pequeño marco sobre la capa base.

3. **Imprimación bituminosa.** Se utilizará asfalto diluido de curado medio (MC), el asfalto diluido puede reconocerse por su olor a kerosene como el elemento del solvente y mezclado con el cemento asfáltico.

Para su aplicación de este se calentará a 50 – 60°C para mejor trabajabilidad y como lo dice la norma en un baño María, luego se procede a colocar la imprimación sobre la capa base que este servirá como para la adherencia y proteger la capa base, se deberá formar una pequeña película delgada de la imprimación. Si se aplica demasiado ligante ocasionará que la carpeta asfáltica se debilite y si la aplicación de ligante es pobre ocasionará que la carpeta asfáltica no se adhiera correctamente. Por lo cual para que no se produzca este error se colocara una tasa de imprimación de 1.50 l/m² y como se conoce el área del cual se va trabajar se realiza una relación de área y se colocara una taza de riego exacta (Volumen – Peso) sobre la capa base.

4. **Preparación de mezcla asfáltica.** Una vez ya preparado el lugar donde se colocará la carpeta asfáltica se procede en laboratorio a armar los cortes de agregado según diseño Marshall previamente calentándolos hasta que pierdan en totalidad su contenido de agua en los poros y luego se los pesa exactamente para

armar el material de mezcla.

5. **Coloque el material de mezcla asfáltica en caliente.** Al día siguiente se haber colocado la imprimación se deberá colocar la mezcla asfáltica en caliente sobre el área ya delimitada se deberá respetar la temperatura de colocado en obra y de compactado, se colocará la mezcla asfáltica con una pala y luego esparcirla por toda el área con un rastrillo, la capa superior deberá quedar a 2 o 3 cm. con relación a mi nivel establecido para permitir la compactación.
6. **Compactación.** Siempre se deberá comenzar la compactación por las esquinas y los bordes, la compactación se lo realizará con un apisonador de mano hasta conseguir la densidad de obra.
7. **Extracción de núcleos.** Para concluir el trabajo se deberá extraer los núcleos de esta carpeta asfáltica y llevarla a laboratorio para analizarla con la metodología de Marshall y obtener los datos característicos de este método para realizar la comparación.

1.7.3.3. Metodología para realizar el doble tratamiento superficial triple in situ

1. **Colocación de dispositivos de control de tránsito.** Es una operación importante porque permite ofrecer al grupo de trabajo mayor seguridad y tranquilidad para desempeñar la puesta en obra de la carpeta asfáltica, por otro lado, permite que los conductores tengan precaución necesaria evitando de esta manera accidentes fatales.

Se coloca vallas, conos o señales.

2. **Inspección y demarcación.** Se deberá barrer con una escoba la zona donde se colocará la carpeta asfáltica y con la ayuda de una tiza se deberá demarcar el área a trabajar, para que el área de trabajo sea de una forma uniforme se colocará un pequeño marco sobre la capa base.
3. **Imprimación (aplicación de ligante).** Se utilizará asfalto diluido de curado medio (MC), el asfalto diluido puede reconocerse por su olor a kerosene como el elemento del solvente y mezclado con el cemento asfáltico.
Para su aplicación de este se calentará a 50 – 60°C para mejor trabajabilidad y como lo dice la norma en un baño María, luego se procede a colocar la

imprimación sobre la capa base que este servirá como goma para adherir y se deberá formar una pequeña película delgada de la imprimación. Por lo cual para que no se produzca este error se colocará una tasa de imprimación de 1.50 l/m² y como se conoce el área del cual se va trabajar se realiza una relación de área y se colocará una tasa de riego exacta (Volumen – Peso) sobre la capa base.

4. **Preparación de agregados.** Una vez ya preparado el lugar donde se colocará el tratamiento superficial, se procede a pesar cada uno de los agregados (B, D y E) según el diseño ya definido previamente con el método de Mc Leod.
5. **Coloque el material de mezcla asfáltica en frío.** Una vez ya pesado los agregados y teniendo los volúmenes de emulsión asfáltica definidos para cada capa se procede a hacer el primer riego de emulsión sobre el área de trabajo para posteriormente se colocará el agregado B (previamente humedecido) de forma pareja y sin que las partículas se sobrepongan unas con otras. Y esto se realizará para el agregado D y E con la misma metodología.
6. **Compactación.** Para la fijación de los agregados se utilizarán rodillos lisos de tipo tándem y compactadores neumáticos autopropulsados. Los rodillos lisos tipo tándem tendrán un peso que este comprendido entre 5 y 8 toneladas autopropulsados serán de un ancho total de consolidación no menor de 1.50 m. y el peso bruto será ajustable dentro de los límites de 36 a 63 kg por cm de ancho consolidador.

El pasaje de los rodillos neumáticos comienza inmediatamente después que el agregado pétreo ha sido distribuido y continua hasta que el agregado esté bien asentado en el ligante. Tan pronto como el asfalto haya sido endurecido el rodillado se suprime para evitar que se rompa la adherencia entre las partículas y el ligante como consecuencia de su acción.

Siempre se deberá comenzar la compactación por las esquinas y los bordes, la compactación se lo realizará con un apisonador de mano con mucha delicadeza y colocando una goma para que el impacto del apisonador no fragmente al agregado. Y esto se realizará para el agregado D y E con la misma metodología.

7. **Consolidación del tratamiento superficial.** Para que las partículas del tratamiento superficial se terminen de acomodar es necesario hacer pasar un tráfico

sobre esta superficie además para que el asfalto exude ya que este es de penetración inversa y con el pasar del tráfico se conseguirá esto.

8. **Colocación de la siguiente capa de tratamiento superficial triple.** Una vez abierto al tráfico para que pase sobre la primera capa de tratamiento superficial triple por un tiempo de 3 semanas se realizara el mismo procedimiento de la primera capa de tratamiento superficial triple en esta nueva capa, siguiendo los pasos anteriores (4,5 y 6), y final mente se abrirá el paso para que pasen vehículos sobre esta superficie para que haya un reacomodo de las partículas del tratamiento superficial por un tiempo de 3 meses.
9. **Extracción de núcleos.** Para concluir el trabajo se deberá extraer los núcleos de esta carpeta asfáltica y llevarla a laboratorio para analizarla con la metodología de Marshall y obtener los datos característicos de este método para realizar la comparación.

1.8. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.

Se realizará la caracterización de cada material según la norma boliviana de la ABC de manual de ensayos de suelos y materiales – asfaltos.

Los ensayos se realizarán en el laboratorio de asfaltos y hormigones siendo después el análisis de los resultados en gabinete para la obtención de valores para el diseño de un tratamiento superficial triple y una carpeta asfáltica.

Para el análisis de comparación entre ambos diseños se lo realizará mediante la prensa Marshall por medio de las briquetas obtenidas en campo (extracción de núcleos), como también el análisis económico de construcción de ambos diseños.

CAPÍTULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1. PAVIMENTOS.

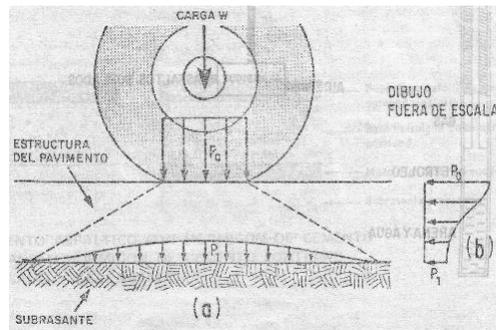
La idea básica en la construcción de un camino o de una zona de estacionamiento, es la preparación de una subrasante o fundación conveniente, lo cual puede estar constituido por un paquete estructural de varias capas con distintas calidades de materiales, proveer el drenaje necesario y construir un pavimento.

- 1.- Tenga un espesor total y una resistencia interna suficiente para soportar las cargas del tránsito esperado.
- 2.- Impida la penetración o acumulación interna de humedad, y
- 3.- Disponga de una superficie de rodamiento lisa, resistente al deslizamiento y resistente al uso, distorsión y deterioro provocado por agentes climáticos y sustancias químicas para evitar el congelamiento.

La subrasante es la que soporta últimamente las cargas. De esta manera la función estructural de un pavimento es soportar las cargas de las ruedas en la superficie del pavimento y transferir y distribuir dichas cargas a la subrasante sin sobrepasar la resistencia de la misma ni la resistencia interna del pavimento (figura 2.1).

La figura 2.1 muestra la carga de una rueda con un peso W , que es transmitida a la superficie del pavimento a través del neumático como una presión vertical aproximadamente uniforme P_0 . El pavimento entonces distribuye la carga de la rueda a la subrasante o al paquete estructural de manera tal que la presión máxima sobre ésta es solamente P_1 . Mediante una elección adecuada de materiales y con un espesor de pavimento apropiado, P_1 será suficientemente pequeña para ser soportada fácilmente por la subrasante.

Figura 2.1. Distribución de la carga de la rueda a través de la estructura del pavimento.



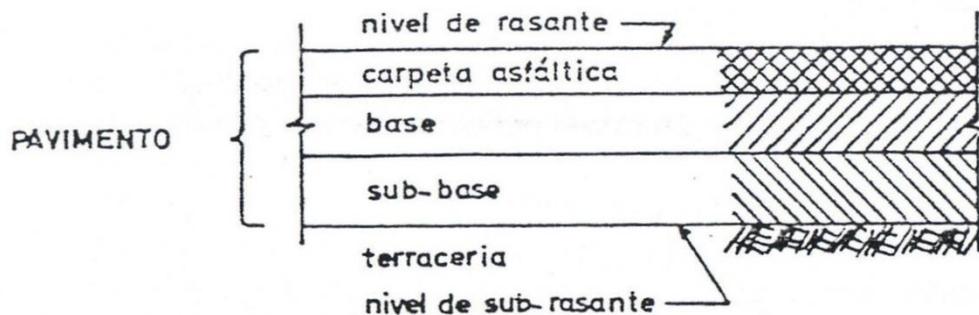
Fuente: Análisis del comportamiento estructural de un pavimento, Instituto mexicano del transporte.

En general los pavimentos se dividen en dos tipos: los pavimentos rígidos o de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles o de asfalto. La diferencia estructural entre ellos estriba en que los pavimentos flexibles presentan muy poca resistencia a la flexión.

2.1.1. Pavimento flexible.

En el caso de los pavimentos flexibles, sus partes constitutivas son:

Figura 2.2. Capas de un pavimento



Fuente: Análisis del comportamiento estructural de un pavimento, Instituto mexicano del transporte.

El pavimento de asfalto o pavimento flexible, es una estructura formada por varias capas (sub-base, base y carpeta asfáltica o capa de rodadura), llegando a ser la subrasante o terracería el terreno de fundación. La diferencia con el pavimento rígido estriba en que la

capa de rodadura está compuesta por una mezcla bituminosa que es la encargada de recibir y transmitir las cargas proporcionadas por las ruedas de los vehículos.

2.1.1.1. Descripción de las capas de un pavimento flexible.

Subrasante. - Es la capa que corresponde al terreno de fundación.

Capa Sub-Base. - En un pavimento de asfalto o flexible, la sub-base es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería o subrasante y que está formada por un material de mejor calidad que el de aquella, obtenido en la generalidad de los casos de depósitos cercanos a la obra. La sub-base tiene como 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 sub-base, 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 sub-base es la siguiente:
 - Debe ser un suelo de preferencia A-1 o A-2 de la clasificación AASHTO.
 - Límite líquido menor a 25.
 - Índice de plasticidad no mayor a 6.
 - C. B. R. mayor a 30%.
 - Material que pasa Tamiz N° 200 no debe exceder de 2/3 del que pasa tamiz N° 40.

Capa Base. - Es la capa de material que se construye sobre la sub-base o, a falta de ésta, sobre la terracería, debiendo estar formada por materiales de mejor calidad que el de la sub-base. Los principales requisitos que debe satisfacer la capa de 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 sub-base o a la subrasante, no exceda la resistencia estructural de éstas.
- 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° 40 con relación al que pasa el tamiz N° 200 debe tener una relación de 0.65.
 - Desgaste de Los Ángeles menor a 40%.

Carpeta asfáltica. - 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”.

2.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.2.1. Consideraciones generales.

Se denomina mezcla asfáltica a la combinación de agregados inertes con un ligante bituminoso. Su uso se ha extendido en gran proporción al facilitarse su ejecución con modernos equipos y disponerse de gran variedad de materiales bituminosos; además, se extiende a la construcción de bases, capas de rodamiento y refuerzos de caminos antiguos.

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.

2.2.1.1. 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

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.

2.2.1.2. 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 equivalente de arena T 176 / ASTM D 2419.
- 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.
- Pesos específicos y absorción de la arena método del frasco volumétrico aforado - AASHTO T 84 / ASTM C 128.

- Gravedad específica de los sólidos método del frasco volumétrico aforado - AASHTO T 100 / ASTM D 854 (Filler).

2.2.1.3. 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.

2.2.1.4. 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.

2.3. 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.

2.3.1. 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 sub-base, si la estructura del pavimento es diseñada adecuadamente. En caso de usar en la base o sub-base, pueden ser convenientes para todos los tipos de tráficos.

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 catatónico, de grado MS o SS y los asfaltos diluidos pueden ser del grado MC o SC.

En la tabla 2.1. 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 2.1. Guía para uso de productos asfálticos en mezclas en frío.

Tipos de construcción	Asfaltos emulsionados													Asfaltos Diluidos						
	Aniónicos								Catiónicos					Endurec. medio (MC)			Endurec. lento (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
Mezcla fría en planta																				
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
Bacheo uso inmediato								X	X			X	X		X	X			X	
Bacheo almacenado															X	X		X	X	
Mezcla in situ (mezcla en camino)																				
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	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.

2.3.1.1. 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.

2.3.1.1.1. 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.

2.3.1.1.2. Usos de los tratamientos superficiales.

El uso de los tratamientos superficiales es:

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 los 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 para 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 ó 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.

2.3.2. Materiales.

2.3.2.1. Asfalto.

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.

2.3.2.1.1. 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 extraído del petróleo, del que se obtiene exento de impurezas, siendo completamente soluble en sulfuro de carbono, tetra cloruro de carbono o tricloroetileno.

2.3.2.1.2. Asfaltos derivados del petróleo.

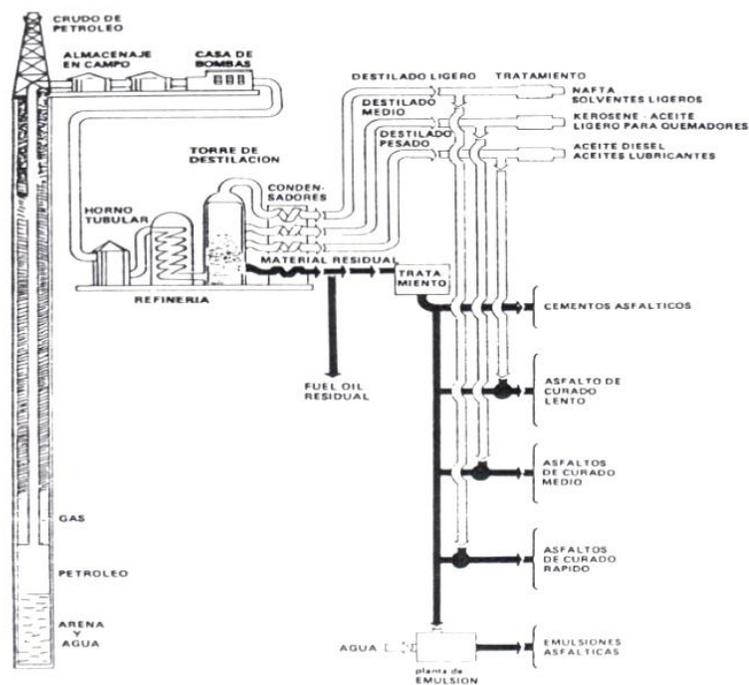
Los asfaltos más usados son los que provienen de la destilación del petróleo. Según el origen del petróleo, la composición de la base se divide en:

- 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 craqueamiento y como consecuencia la pérdida de sus propiedades aglomerantes. (Ver figura 2.3.).

Figura 2.3. Esquema de fabricación de los productos asfálticos.



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

El producto obtenido en el fondo de la torre posterior a la extracción de los componentes livianos, se denomina pitch. Con él se prepara el cemento asfáltico que, a temperatura ambiente, es un compuesto semisólido.

Este cemento asfáltico se obtiene en diferentes consistencias que se miden a través del ensayo de penetración, y constituye el producto base a partir del cual se preparan los distintos tipos de asfaltos para pavimentación.

El elemento aglomerante activo que constituye un asfalto se denomina betumen. Con el objeto de establecer una distinción entre los términos asfalto y betumen, la American Society for Testing Materials (ASTM) estableció las siguientes definiciones:

Asfalto. - Material aglomerante de consistencia variable, de color negro o café oscuro, cuyo constituyente predominante es el betumen, pudiendo encontrarse en yacimientos naturales ó ser obtenido por refinación de petróleo.

Betumen. - Mezcla de hidrocarburos pesados, obtenida en forma natural o por diferentes procesos físicos o químicos, con sus derivados de consistencia variable y con poder aglutinante é impermeabilizante, siendo completamente soluble en sulfuro de carbono (CS₂).

2.3.2.1.3. Tipos de Asfalto.

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:

- a. 1) Cementos asfálticos.
- a. 2) Asfaltos cortados.
- a. 3) Emulsiones asfálticas.

b) Asfaltos industriales:

- b.1) Asfaltos oxidados.

a.1.) Cementos asfálticos. - Los cementos asfálticos son preparados especialmente para el uso en la construcción de pavimentos asfálticos. Es un material ideal para su aplicación en trabajos de pavimentación, pues aparte de sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis. Se clasifican de acuerdo con su consistencia medida por el ensayo de penetración.

a.2.) Asfaltos cortados. - Los asfaltos cortados, también conocidos como asfaltos diluidos cut-backs, resultan de la dilución del cemento asfáltico con destilados del petróleo.

Para poder disolver el cemento asfáltico, se usan solventes de petróleo, conocidos también como diluyentes o destilados. Si el solvente para diluir el asfalto es altamente volátil, se evapora rápidamente; por el contrario, los de baja volatilidad lo hacen más despacio. Por lo tanto, basándose en la velocidad relativa de evaporación, se puede dividir a los asfaltos diluidos en tres tipos:

- 1.- Curado rápido (RC); cemento asfáltico y un diluyente liviano de alta volatilidad, generalmente con un punto de ebullición de rango similar a la nafta o gasolina.
- 2.- Curado medio (MC); cemento asfáltico y un diluyente mediano de volatilidad media, generalmente en el orden del punto de ebullición del querosene.
- 3.- Curado lento (SC); cemento asfáltico y aceites de baja volatilidad.

a.3.) Emulsiones asfálticas. - 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:

- Catiónicas.
- Aniónicas.

Y en cuanto al tiempo de quiebre:

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

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

Los asfaltos oxidados son 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.

2.3.2.1.4. 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 fisuramiento, 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:

- 1.- Al aplicarse, debe ser de fluidez suficiente para regar fácilmente y para cubrir la superficie de manera uniforme.
- 2.- Después de haber sido aplicado, debe retener la consistencia apropiada para cubrir el agregado.
- 3.- Debe curar y desarrollar adherencia prontamente.

4.- Después del aplanado y curado debe retener el agregado fuertemente unido a la superficie de la carretera, evitando su desplazamiento por el tráfico.

5.- Cuando se aplique en cantidad correcta no deberá sangrar ni desprenderse 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.

2.3.2.2. Agregado.

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 embebimiento 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. –

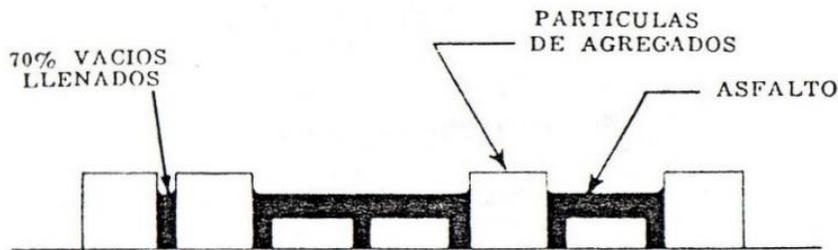
La buena adherencia entre el agregado y el asfalto y la habilidad para conservarla son esenciales para conseguir un buen tratamiento superficial. La adherencia es afectada por las diversas variables descritas en las secciones precedentes y además hay lugares en que las condiciones ideales no se pueden 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° 8 (2.36 mm.).

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

Figura 2.4. 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 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.

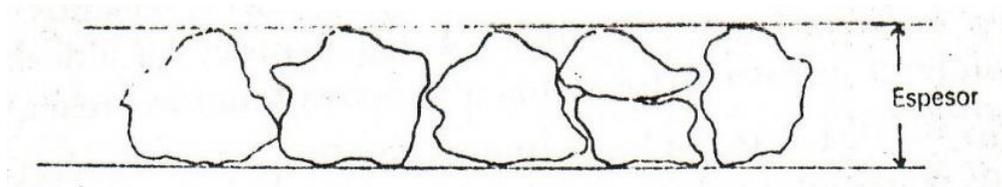
2.3.3. Dosificación.

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 se 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 superestable. 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 ó proceder al lavado del agregado pétreo.
- En épocas de bajas temperaturas, es necesario enriquecer los riegos de las capas superiores, disminuyendo los 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:

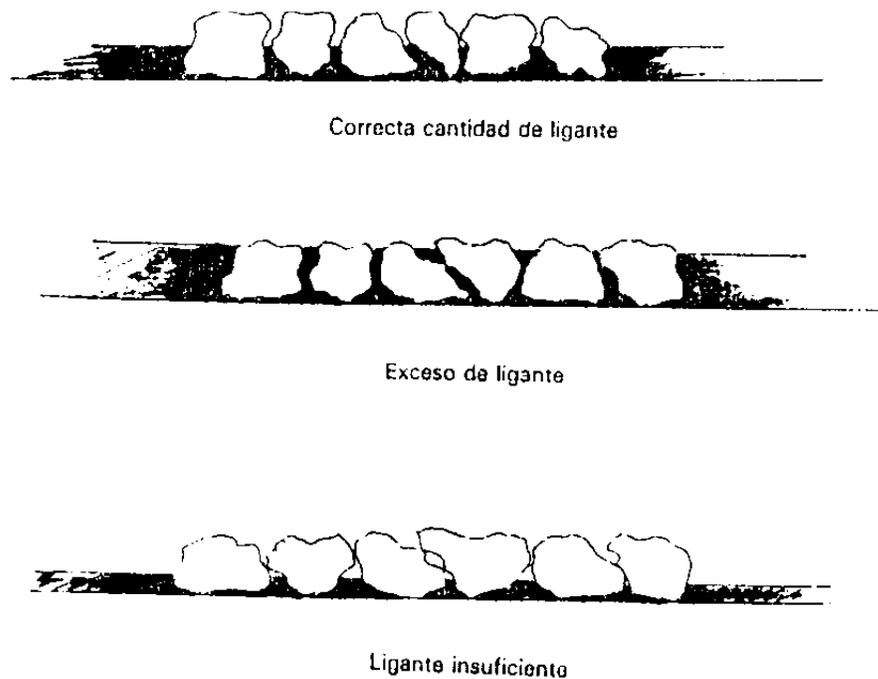
Figura 2.5. Partículas de agregado.



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 2.6. Adherencia entre partículas.



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

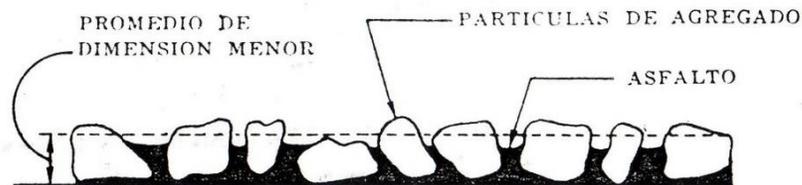
2.3.4. Métodos de diseño.

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 2.7.

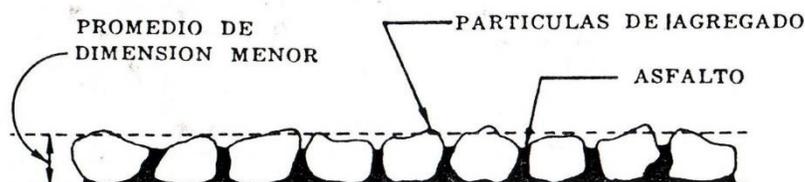
Figura 2.7. Partículas del Agregado tendidas por el espaciador, apoyadas en posición desarreglada.



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 2.8.

Figura 2.8. 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 embrago, 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.

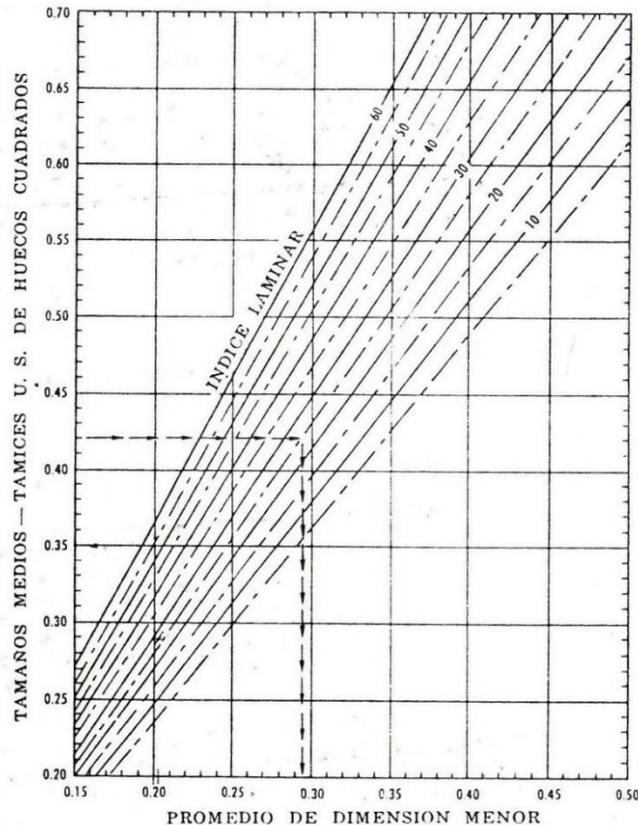
El producto asfáltico usado para un tratamiento superficial debe ser una emulsión suficientemente fluida cuando se riegue, para poder mojar el agregado y la superficie de la carpeta o de la base. Asimismo, para que después pueda desarrollar en corto tiempo la adhesividad activa y suficiente viscosidad 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 2.9. 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, si 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 2.2. Estos factores de tráfico de la mencionada tabla son porcentajes expresados en forma decimal.

Tabla 2.2. Factores de tráfico para tratamientos superficiales.

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

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:

2.3.4.1. 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^2 , 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 $1/\text{m}^2$, 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.

Para el caso de un tratamiento doble, se redistribuye la cantidad medida del primer agregado y se rellenan intersticios con el segundo árido, el cual tiene una granulometría aproximadamente igual a la mitad de la del primero.

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.

2.3.4.2. 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 depende 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.

2.3.4.3. Método de Mc Leod.

Está basado en los principios teóricos de F. M. Hanson y en la experiencia lograda en el diseño y construcción de estos tipos de tratamientos simples y múltiples.

Para el cálculo del agregado pétreo se aplica la siguiente fórmula:

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

Donde:

C = Cantidad de agregado pétreo (kg/m²)

M = Factor que varía con el tipo de agregado, tránsito y clima.

De la experiencia surge que M es menor o mayor que 1, que es su valor normal.

V = Vacíos del agregado mineral, regado en condición suelta, definido por:

$$V = 1 - \frac{W}{G}, \text{ en cifras decimales.}$$

Donde:

W = Peso unitario del agregado suelto, kg/m³.

G = Peso específico bruto del árido (Bulk specific gravity), kg/m³.

H = Promedio de la menor dimensión del agregado (mm.).

E = Factor de pérdida de árido, según la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Debida a descarga rápida y manipuleo del material.

Porcentaje de pérdida (*) admitido	(E) Factor de pérdida
1	1.01
2	1.02
3	1.03
4	1.04
5	1.05
6	1.06
7	1.07
8	1.08
9	1.09
10	1.10
11	1.11
12	1.12
13	1.13
14	1.14
15	1.15

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

El dosaje de ligante, B, se calcula con la siguiente expresión:

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

Donde:

B = Cantidad de ligante asfáltico, l/m².

M, H y V = Tienen el mismo significado anterior.

T = Factor de tránsito: Es el porcentaje (expresado en forma decimal) del 20 % de vacíos del agregado pétreo, a ser llenado por el asfalto. En la tabla 2.4, se dan los valores de T en función volumen de tránsito (vehículos/día), para un agregado de reconocida calidad.

Tabla 2.4. Factores de tráfico.

Vehículos / día	T : Factor de tránsito.
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.

Donde:

S = Corrección por textura de la calzada sobre la que se aplicará el tratamiento, l/m².

Los valores de S se dan en la tabla 2.5.

Tabla 2.5. Factores por corrección de textura.

Textura	Valores de S en l/m²
Asfalto aflorado en la superficie	0.04 a – 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.

Donde:

A = Corrección por absorción de asfalto en los agregados, l/m².

(despreciarlo salvo para piedras porosas).

R = Asfalto residual del ligante empleado, en forma decimal.

2.3.2. Mezclas asfálticas en caliente.

Una mezcla asfáltica en caliente consiste en una combinación de agregados uniformemente mezclados recubiertos por cemento asfáltico. Para secar los agregados y obtener suficiente fluidez del cemento asfáltico, como para lograr adecuada trabajabilidad y mezclado, tanto los agregados como el asfalto deben ser calentados antes del mezclado, de ahí el término “mezcla en caliente”.

Las mezclas hechas en planta son las de mayor estabilidad de todas las mezclas asfálticas y consisten en mezclar el agregado pétreo y el cemento asfáltico a alta temperatura, de tal modo que el agregado esté completamente seco y con una temperatura acorde a la del

asfalto, con lo cual este alcanzará la viscosidad adecuada para que en el proceso de mezclado se obtenga un cubrimiento perfecto.

Cuando no exista suficiente adherencia entre el material bituminoso y los agregados, se empleará un aditivo de adherencia, aprobado por la supervisión, que será incorporado a los materiales bituminosos en la planta.

Se considera que no existe suficiente adherencia si el porcentaje de cubrimiento es inferior a 95% cuando se realice la prueba AASHTO T-182 a 35°C.

La 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 algunos como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo “califica – no califica” y solo puede indicar si la muestra es o no lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

Después que el mezclado en planta se completa, la mezcla es transportada al lugar de pavimentación y distribuida por una pavimentadora en una capa ligeramente compactada para obtener una superficie uniforme y pareja. Mientras la mezcla está aún caliente, el material es compactado más intensamente por rodillos pesados accionados a motor para producir una capa lisa y bien consolidada.

Dependiendo del proyecto y la zona de la mezcla, los cementos asfálticos aconsejados en caliente figuran en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Tipos de cementos asfálticos usados en mezclas en caliente.

Cementos asfálticos convencionales	
Tipo de C.A.	Lugar que se utiliza
Clasificado por penetración	
60 - 70	Zonas Calurosas, como: Villamontes, Yacuiba, Bermejo.
85 - 100	Zonas templadas, como: Tarija, el Valle central.
120 - 150	Zonas frías, como: Iscayachi, Yunchará.

Penetración recomendable para diversos tipos de bitúmenes asfálticos

Pavimentación	Clima			
	Cálido árido	Cálido Húmedo	Moderado	Frío
Aeropuertos:				
Pistas de despegue	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100
Caminos auxiliares	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100
Aparcamientos	60 - 70	60 - 70	60 - 30	85 - 100
Carreteras:				
Tráfico pesado y muy pesado	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100
Tráfico medio a ligero	85 - 100	85 - 100	85 - 100	120 - 150
Calles:				
Tráfico pesado y muy pesado	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100*
Tráfico medio a ligero	85 - 100	85 - 100	85 - 100	85 - 100
Caminos particulares:				
Industriales	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100

Estaciones de servicio	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100
Residenciales	60 - 70	60 - 70	85 - 100	85 - 100
Aparcamientos:				
Industriales	60 - 70	60 - 70	60 - 70	60 - 70
Comerciales	60 - 70	60 - 70	60 - 70	85 - 100

* Normalmente se emplea en el sheet asphalt, asfalto de penetración 60- 70.

Fuente: Manual del asfalto (1973). Ediciones URMO, España.

Control de calidad del material bituminoso para diseño de carpeta asfáltica

Ensayo de peso específico del cemento asfáltico norma AASHTO T 228 / ASTM D 70

Ensayo de viscosidad Saybolt Furol norma AASHTO T 72 / ASTM D 88

Ensayo de penetración norma AASHTO T 49 / ASTM D 5

Ensayo para determinar la ductilidad ASTM D 113 AASHTO T 51

Definiciones.

El peso específico de un agregado es el cociente entre el peso de un volumen unitario de material y el peso de igual volumen de agua a temperatura entre 20 y 23 °C (68 y 77 °F).

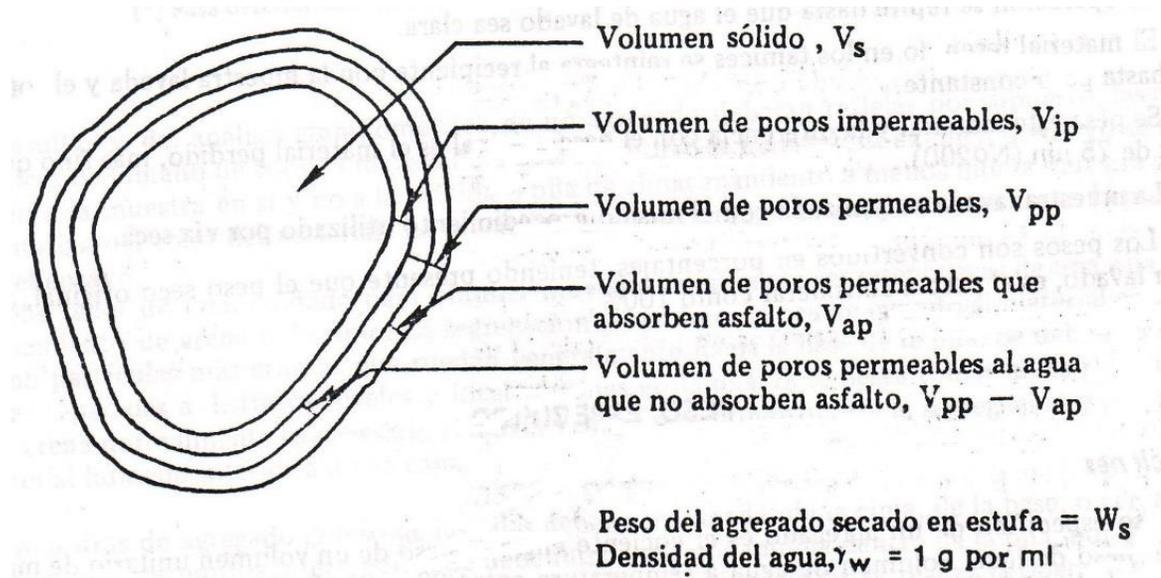
Existen tres tipos aceptados de pesos específicos de los agregados, los que dependen de la definición de volumen de la partícula:

1. Peso específico aparente.
2. Peso específico bruto, y
3. Peso específico efectivo.

Refiriéndonos a la figura 2.10., el peso específico aparente considera al volumen del agregado como el volumen total excluyendo el volumen de poros o capilares que pueden llenarse de agua en 24 horas de embebimiento. El peso específico bruto considera el volumen total de las partículas del agregado, incluyendo los poros que pueden ser llenados

con agua en 24 horas de embebimiento. El peso específico efectivo considera el volumen total del agregado excluyendo al volumen de poros que absorbe asfalto.

Figura 2.10. Relación de Volúmenes en el agregado grueso.



Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente, MS
 – 22.

Los vacíos en la capa de pavimento asfáltico compactada aparecen en la muestra como pequeñas cavidades de aire entre las partículas de agregado recubiertas por asfalto. La elección del peso específico de un agregado usado en los cálculos de una mezcla asfáltica podría tener un efecto sustancial sobre la cantidad calculada de vacíos en el pavimento compactado. El peso específico del agregado en la mezcla depende del grado en que el mismo absorbe asfalto. Cuando se usa el peso específico aparente se asume que el asfalto será absorbido por todos los poros permeables al agua. Si se usa el peso específico bruto, se acepta que el asfalto no será absorbido por los poros permeables al agua. Excepto en algunos casos, ninguno de los dos es correcto. El concepto de peso específico efectivo se aproxima más al valor verdadero para la determinación de los vacíos de la mezcla asfáltica compactada. El peso específico bruto puede ser usado, sin embargo, si se considera una tolerancia por asfalto absorbido por el agregado.

Para una combinación de agregados, los porcentajes de componentes del agregado total deberán requerir un ajuste por la diferencia de pesos específicos de cada uno de ellos. Cuando esto es necesario, los pesos específicos brutos son los que usualmente se emplean en los cálculos.

2.3.2.3. 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.

2.3.2.3.1. Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas.

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

2.3.2.3.1.1. Determinación de la gravedad específica.

La prueba de gravedad específica puede desarrollarse tan pronto como 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

2.3.2.3.1.2. 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. Ubicado 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 esta 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.

2.3.2.3.1.3. 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).

2.3.2.3.2. 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 (V_a); vacíos de agregado mineral (VAM); vacíos llenados con asfalto (VFA); y contenido de asfalto efectivo (P_{be}) 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 varió con cada agregado. Los tres métodos para medir gravedad específica del agregado toman estas variaciones en consideración. Estos métodos son: la gravedad específica neta, aparente, y la efectiva.

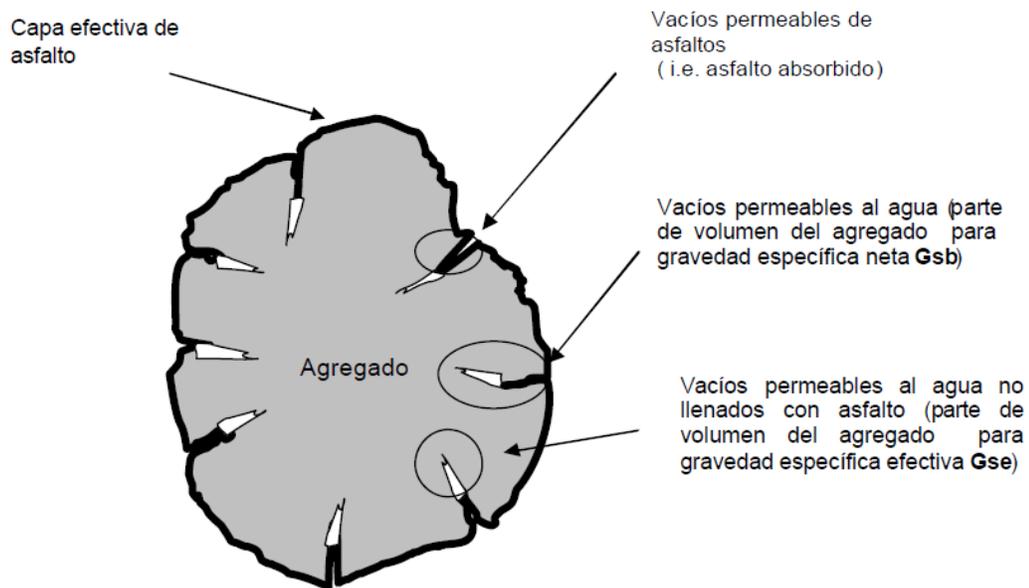
Gravedad específica neta, G_{sb} . - Proporción de la masa al aire de una unidad de volumen de un material permeable (incluyendo vacíos permeables e impermeables del material) a

una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada a una temperatura indicada Figura 2.10.

Gravedad específica aparente, G_{sa} . - 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 Figura 2.10.

Gravedad específica efectiva, G_{se} . - 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 Figura 2.11.

Figura 2.11. Ilustración de los parámetros de diseño volumétrico.



Fuente: Análisis comparativo de los métodos Marshall y SUPERPAVE para la comparación de mezclas asfálticas

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 Figura 2.11.

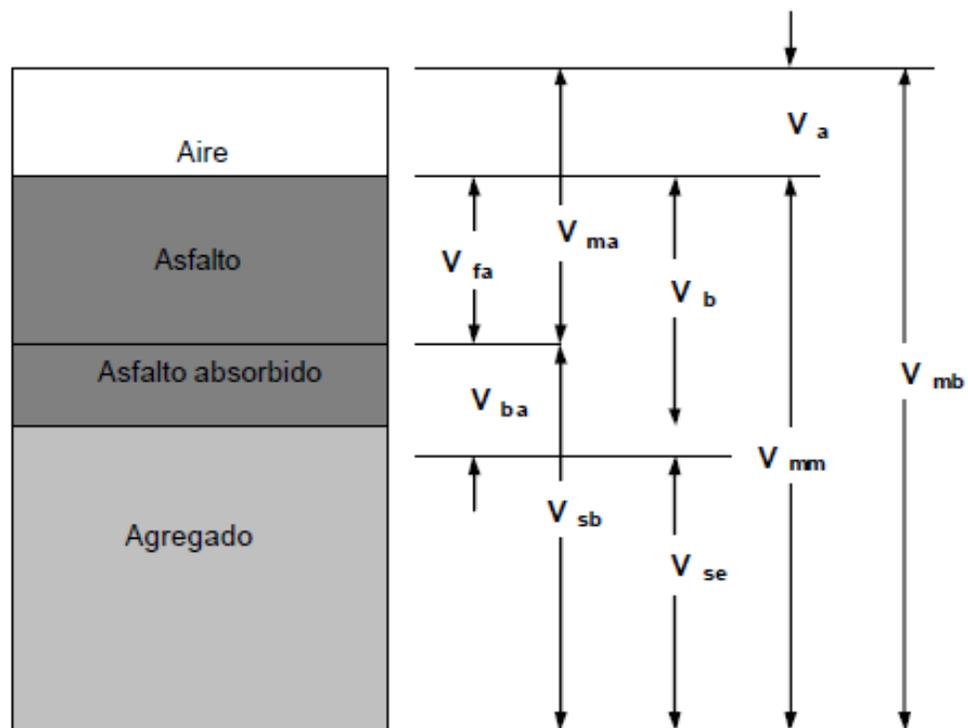
Contenido de asfalto efectivo, P_{be} . - Contenido de asfalto total de una mezcla asfáltica, menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado.

Vacíos de aire, V_a . - 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. Figura 2.11.

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 $(VAM - V_a)$ entre VAM Figura 2.11.

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, G_{sb} .

Figura 2.12. Componente del diagrama de compactación de una HMA.



Fuente: Análisis comparativo de los métodos Marshall y SUPERPAVE para la comparación de mezclas asfálticas

Donde:

V_{ma} = Volumen de vacíos en agregado mineral.

V_{mb} = Volumen total en agregado mineral.

V_{mm} = Volumen de mezcla asfáltica sin vacíos.

V_{fa} = Volumen de vacíos llenados con asfalto.

V_a = Volumen de vacíos de aire.

V_b = Volumen de asfalto.

V_{ba} = Volumen de asfalto absorbido.

V_{sb} = Volumen de agregado mineral (gravedad específica de la masa).

V_{se} = Volumen de agregado mineral (gravedad específica efectiva).

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) y vacíos de aire (V_a), se expresan como un porcentaje del volumen de la mezcla asfáltica. Los vacíos llenos de asfalto (VFA) son el porcentaje del VAM llenado con el asfalto efectivo.

Dependiendo de cómo se especifica el contenido de asfalto, el contenido de asfalto efectivo puede expresarse como un porcentaje de la masa total de la mezcla asfáltica, o como porcentaje de la masa del agregado de la mezcla asfáltica.

Debido a que el vacío de aire, VAM y VFA son cantidades de volumen; una mezcla asfáltica, primero debe de ser diseñada o analizada sobre la base del volumen. Para propósitos de diseño, este acercamiento volumétrico puede ser fácilmente cambiado a valores de masas, para proveer una mezcla de diseño.

Gravedad específica neta del agregado. -

Cuando el agregado total consiste en fracciones separadas de agregado grueso; agregado fino; y filler, todos tienen diferentes gravedades específicas; la gravedad específica neta para el agregado total se calcula usando:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total.

P_1, P_2, P_n = Porcentajes individuales por masa de agregado.

G_1, G_2, G_n = Gravedad específica neta individual del agregado.

La gravedad específica neta del filler es difícil de determinar correctamente. De cualquier modo, si la gravedad específica aparente del filler es estimada, el error es usualmente insignificante.

Gravedad específica efectiva del agregado. -

Cuando se basa en la gravedad específica máxima de una mezcla de pavimento G_{mm} , la gravedad específica efectiva del agregado, G_{se} , incluye todos los espacios de vacíos en las partículas del agregado, excepto aquellos que absorben el asfalto; G_{se} , se determina usando:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{se} = Gravedad específica del agregado.

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima (ASTM d 2041/AASHTO T 209) de mezcla de pavimento (sin vacíos de aire).

P_{mm} = Porcentaje de masa suelta = 100

P_b = Contenido de asfalto con el cual ASTM d 2041/AASHTO T 209 desarrollo el ensayo; el porcentaje por el total de la masa de la mezcla.

G_b = Gravedad específica neta.

El volumen de asfalto absorbido por los agregados es casi invariablemente menor al volumen de agua absorbida. Por lo tanto, el valor para la gravedad específica efectiva de un agregado debe de estar entre su gravedad específica neta y su gravedad específica aparente. Cuando la gravedad específica efectiva sale de estos límites, su valor se debe asumir como incorrecto. El cálculo de la gravedad específica máxima de a mezcla mediante la ASTM D2041/AASHTO T 209; la composición de la mezcla en términos del contenido de agregado; y el total de asfalto se debe entonces, volver a inspeccionar para encontrar la causa del error.

Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica. -

En el diseño de una mezcla asfáltica para un agregado dado, se necesitará la gravedad específica máxima, G_{mm} , para cada contenido de asfalto con el fin de calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto. Mientras que la gravedad específica máxima puede determinarse para cada contenido de asfalto mediante ASTM D2041/AASHTO T209; la precisión del ensaye es mejor cuando la mezcla está cerca del contenido de asfalto de diseño. Además, es preferible medir la gravedad específica máxima por duplicado o triplicado.

Después de calcular la gravedad específica efectiva del agregado para cada gravedad específica máxima medida; y promediando los resultados del G_{se} , la gravedad específica máxima para cualquier otro contenido de asfalto puede obtenerse con la siguiente ecuación, la cual supone que la gravedad específica efectiva del agregado es constante, y esta es válida puesto que la absorción del asfalto no varía apreciablemente con los cambios en el contenido de asfalto.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima (ASTM d 2041/AASHTO T 209) de mezcla de pavimento (sin vacíos de aire).

P_{mm} = Porcentaje de masa suelta = 100

P_s = Contenido de asfalto, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

P_b = Contenido de asfalto con el cual ASTM d 2041/AASHTO T 209 desarrollo el ensayo el porcentaje por el total de la masa de la mezcla.

G_{se} = Gravedad específica del agregado.

G_b = Gravedad específica neta.

Absorción de asfalto. -

La absorción se expresa como un porcentaje de la masa del agregado, más que como un porcentaje del total de la masa de la mezcla.

La absorción del asfalto, P_{ba} , se determina mediante:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_b$$

Donde:

P_{ba} = Asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

G_{se} = Gravedad específica del agregado.

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total.

G_b = Gravedad específica neta.

Contenido de asfalto efectivo. -

El contenido de asfalto efectivo, P_{be} , de una mezcla de pavimento es el volumen total de asfalto, menos la cantidad de asfalto perdido por absorción dentro de las partículas del agregado. Es la porción del contenido total de asfalto que se queda como una capa en el exterior de la partícula del agregado y es el contenido de asfalto que gobierna el desempeño de una mezcla asfáltica. La fórmula es :

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_b$$

Donde:

P_{be} = Contenido de asfalto efectivo, porcentaje de la masa total de la mezcla.

P_b = Contenido de asfalto con el cual ASTM D 2041/AASHTO T 209 desarrollo el ensayo; el porcentaje por el total de la masa de la mezcla.

P_{ba} = Asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

P_s = Contenido de asfalto, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral. -

Los vacíos en el agregado mineral, VAM, se definen como el vacío intergranular entre las partículas de agregado en una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total. El VAM puede calcularse sobre la base de la gravedad específica neta de agregado, y expresarse como el porcentaje del volumen mezcla asfáltica compactada. Por tanto, el VAM puede estimarse restando el volumen del agregado determinado por su gravedad específica neta, del volumen neto de la mezcla asfáltica compactada.

Si la composición de la mezcla se determina como el porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} - P_s}{G_{sb}}$$

Donde:

VAM = Vacíos en el agregado mineral (porcentajes del volumen neto).

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total.

G_{mb} = Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada (ASTM D 1188 o D 2726/AASHTO T 166).

P_s = Contenido de asfalto, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

O, si la composición de la mezcla es determinada como el porcentaje de la masa del agregado:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_b} \times 100$$

Donde:

P_b = Contenido de asfalto, porcentaje de la masa del agregado.

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total.

G_{mb} = Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada (ASTM D 1188 o D 2726/AASHTO T 166).

Porcentaje de vacíos de aire. -

Los vacíos de aire, V_a , en la mezcla asfáltica compactada consiste en los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado. El porcentaje del volumen de vacíos de aire en una mezcla compactada, puede determinarse usando:

$$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Donde:

V_a = Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen.

G_{mm} = Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica.

G_{mb} = Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada.

Porcentaje de vacíos llenos de asfalto. -

El porcentaje de los vacíos en el agregado mineral que son llenados por el asfalto, VFA, no incluyendo el asfalto absorbido, se determina usando:

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - V_a}{VMA}$$

Donde:

VFA = Vacíos llenados con asfalto, porcentaje del VAM.

VAM = Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen total.

V_a = Vacíos de aire en mezclas compactadas, porcentaje del volumen total.

2.4. DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA PARA UN TIPO DE TRÁFICO.

Está diseñada para un tráfico liviano – mediano de ejes equivalentes que varían entre menor a 150 000 ESAL o en términos de repeticiones y magnitud de cargas esperadas en el periodo de diseño, según recomendación de la AASHTO, pero en otros textos recomienda que se coloque tratamiento superficial triple a carreteras de bajo volumen de tráfico o carpeta asfáltica (menos de 700 vehículos/ día).

En los textos existen recomendaciones de espesores que pueden ser colocados en función de los ejes equivalentes como ser la AASHTO como se puede apreciar en la tabla 2.7.

Tabla 2.7: Espesores mínimos de capas en carreteras recomendados por AASHTO.

Tránsito ESAL	Espesor mínimo (pulg)	
	Concreto asfáltico	Base de agregado
Menor que 50 000	1,0 (o tratamiento superficial)	4
50 001 - 150 000	2,0	4
150 001 - 500 00	2,5	4
500 001 - 2 000 000	3,0	6
2 000 001 - 7 000 000	3,5	6
Mayor que 7 000 000	4,0	6

Fuente: Adaptado con autorización de AASHTO Guide for Design of Pavement Structure, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 1993.

CAPÍTULO III
APLICACIÓN PRÁCTICA

CAPITULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.

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 la comunidad de San José de Charajá, donde se encuentra ubicada la planta de asfaltos del servicio departamental de caminos SEDECA.

Estos agregados pétreos se utilizarán para la realización de la mezcla asfáltica en caliente como también para el tratamiento bituminoso superficial, del presente proyecto de grado de investigación.

Imagen 3.1. Acopios de agregados en la planta de Charaja.



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. La precisión en el muestreo es tan importante como la precisión en el ensayo.

Se debe tener un gran cuidado para obtener muestras totalmente representativas de una pila de almacenamiento de arena o de ripio. La segregación generalmente ocurre cuando el material es apilado, con partículas más gruesas que ruedan generalmente hacia la base de la pila. 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 procedimiento para el muestreo está descrito en ASTM D-75, AASHTO T-2.

Imagen 3.2. Muestreo de acopio agregado 3/8”.



Fuente: Elaboración propia

3.2. TRABAJO DE LABORATORIO PARA AGREGADOS PÉTREOS.

Los ensayos de laboratorio de los agregados pétreos se presentan en el Anexo 2, los mismos están referidos a ensayos de: Grava Triturada de $\frac{3}{4}$ ”, grava Triturada de $\frac{3}{8}$ ” y arena triturada.

La procedencia de los tres agregados citados, son materiales provenientes de la planta de asfaltos del servicio departamental de caminos SEDECA – Charaja.

Se presenta planilla resumen de las características de los agregados, según los ensayos ejecutados.

Tabla 3.8. Caracterización de los agregados pétreos para mezcla asfáltica en caliente.

Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones	
			Mínimo	Máximo
Peso Específico Bulk Material Retiene N° 4	g/cm ³	2.607		
Peso Específico Aparente Material Retiene N° 4	g/cm ³	2684		
Peso Específico Bulk Material N° 4 – N° 200	g/cm ³	2.583		
Peso Específico Aparente Material N° 4 – N° 200	g/cm ³	2.746		
Peso Específico Aparente Filler	g/cm ³	2.756		
Absorción Material Retiene N° 4	%	1.1		
Absorción Material N° 4 – N° 200	%	2.3		
Resistencia a la Abrasión Desgaste de Los Ángeles	%	23		40
Durabilidad Agregado.	%	4		12
Una (1) Cara Fracturada Agregado Grueso	%	92	90	
Dos (2) Caras Fracturadas Agregado Grueso	%	85	75	
Límite Líquido del filler recuperado por decantación (Pasa Tamiz N° 200)	%	25		25
Índice de Plasticidad del filler recuperado por decantación (Pasa Tamiz N° 200)	%	N.P.		No plástico
Equivalente de Arena	%	51	45	

Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Ensayos de los agregados pétreos para mezcla asfáltica en caliente.

3.2.1.1. Análisis granulométrico.

La 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 hacen progresivamente más pequeñas, y la pesada del material retenido en cada tamiz.

Los equipos y procedimientos para realizar el análisis granulométrico de los agregados se detallan en AASHTO T - 27 – 11.

Tabla 3.9. Granulometría agregados pétreo 3/4”.

Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del total
1"	25,40	100,0
3/4"	19,05	97,2
1/2"	12,50	43,5
3/8"	9,53	16,1
Nº 4	4,75	1,7
Nº 8	2,36	1,4
Nº 40	0,43	0,9
Nº 200	0,075	0,7

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.10. Granulometría agregados pétreo 3/8”.

Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del total
1"	25,40	100,0
3/4"	19,05	100,0
1/2"	12,50	100,0
3/8"	9,53	98,6
Nº 4	4,75	33,6
Nº 8	2,36	4,9
Nº 40	0,43	3,1
Nº 200	0,075	1,6

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.11. Granulometría agregados pétreo arena triturada más filler .

Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del total
1"	25,40	100,0
3/4"	19,05	100,0
1/2"	12,50	100,0
3/8"	9,53	100,0
Nº 4	4,75	100,0
Nº 8	2,36	81,7
Nº 40	0,43	31,2
Nº 200	0,075	10,8

Fuente: elaboración propia

Imagen 3.3. Cuarteo de agregado arena triturada



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.4. Granulometría agregada 3/4"



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3. Peso específico.

3.2.1.3.1 Peso específico del agregado retiene N°4.

El equipo y los procedimientos para la determinación del peso específico de los agregados gruesos se detallan en AASHTO T-85 y ASTM C-127.

Tabla 3.12. Pesos específicos agregados retiene N°4.

Resultados		
Peso específico bruto, base muestra s.s.s., G_{bs}	kg/m ³	2636
Peso específico bruto, base muestra secada al horno, G_b	kg/m ³	2607
Peso específico aparente, G	kg/m ³	2684
Por ciento absorción, % abs, $[(a - P_s) * 100] / P_s$	%	1,1

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3.2. Peso específico del agregado pasa N° 4 – retiene N°200.

El equipo y los procedimientos para la determinación de los pesos específicos de los agregados finos se establecen en AASHTO T-84 y ASTM C-128.

Tabla 3.13. Pesos específicos agregados pasa N°4 – retiene N°200.

Resultados		
Peso específico bruto, base muestra s.s.s., G_{bs}	kg/m ³	2642
Peso específico bruto, base muestra secada al horno, G_b	kg/m ³	2583
Peso específico aparente, G	kg/m ³	2746
Por ciento absorción, % abs, $[(a - P_s) * 100] / P_s$	%	2,3

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3.3. Peso específico del agregado pasa N°200.

El equipo y los procedimientos para la determinación del peso específico del filler se establecen en AASHTO T-100 y ASTM D-854.

Tabla 3.14. Peso específico del filler.

Resultado	
Peso específico de los sólidos a 20 °C, $G_s =$	2,756

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.5. Ensayo de peso específico agregado retiene N°4.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.6. Ensayo de peso específico agregado pasa N° 4 - retiene N°200.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.7. Ensayo de peso específico agregado pasa N°200 (filler).



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.4. Equivalente de arena.

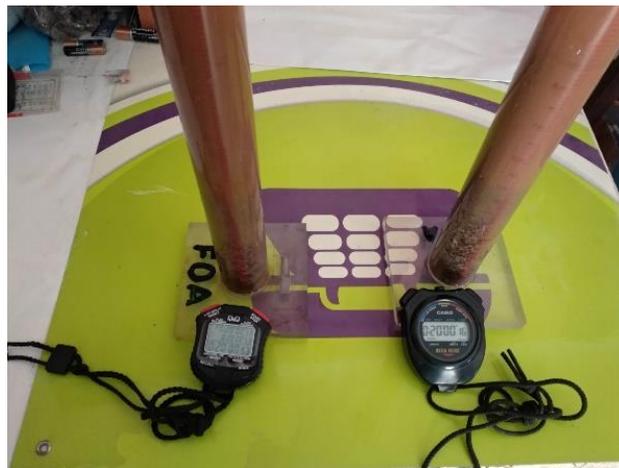
Los materiales y el procedimiento para la realización de este ensayo se describen en el método AASHO T-176.

Tabla 3.15. Equivalente de arena.

	Resultado
Equivalente de arena [%] =	51
Especificación técnica :	> 45 %

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.8. Ensayo de equivalente de arena.



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.5. 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 equipo requerido y procedimiento para este ensayo se detalla en AASHO T-96 y ASTM C-131.

Tabla 3.16. Desgaste por abrasión o desgaste de “Los Ángeles”.

Resultado	
Desgaste por abrasión % =	23

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.9. Máquina de desgaste “Los Ángeles”



Fuente: Elaboración Propia

Imagen 3.10. Ensayo de desgaste de Los Ángeles



Fuente: Elaboración propia

3.2.1.6. Ensayo de resistencia a los sulfatos.

El ensayo de resistencia a los sulfatos da una indicación de la resistencia de los áridos finos y gruesos a los agentes atmosféricos. El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T-104 y ASTM C-88.

Tabla 3.17. Desgaste por sulfatos.

Resultado	
Pérdida en peso sometido a cinco ciclos en sulfato de sodio =	4 %

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.7. Límite líquido y límite plástico del filler.

Tabla 3.18. Límites de Atterberg.

	Resultado
Limite Liquido =	25
Limite Plástico =	N.P.
Índice de Plasticidad =	N.P.

Fuente: Elaboración propia

3.3. PROCEDENCIA CEMENTO ASFÁLTICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

El cemento asfáltico que se utilizó fue PROBISA 85 - 100 de procedencia chilena, proporcionado por el servicio departamental de caminos – SEDECA de Tarija. Ya que este cemento asfáltico es el que se está utilizando en nuestro medio por empresas privadas, como en el SEDECA.

Imagen 3.11. Ubicación de la planta de SEDECA



Fuente: Google earth.

Imagen 3.12. Cemento asfáltico 85-100



Fuente: Elaboración propia

3.4. TRABAJOS 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 de la carpeta asfáltica en caliente, tiene la siguiente información técnica:

Origen:	Chile
Marca:	PROBISA
Producto:	Cemento asfáltico CA 85 – 100

Tabla 3.19. Ensayos del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones	
			Mínimo	Máximo
Peso específico del cemento asfáltico	g/cm ³	1.010	1.000	1.050
Penetración	0.1 mm	91	85	100
Película delgada en horno. Pérdida por calentamiento	%	0.693		1.0
Adherencia de agregado - asfalto	%	>95 %	95	
Ductilidad	cm	109	100	
Viscosidad Saybolt Furol a 135 °C	sFS	128.1	85	
Punto de ablandamiento	°C	45	43	53
Contenido de agua	%	0.1		0.2

Fuente: Elaboración propia

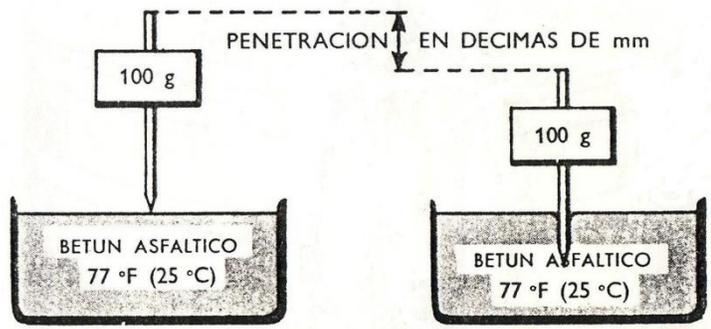
El cemento asfáltico cumple con: REQUISITOS PARA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA CEMENTO ASFÁLTICO – AASHTO M 20, según lo requerido en las especificaciones técnicas de la norma boliviana.

3.4.1. 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 los métodos AASHTO T - 49 y ASTM D - 5.

Figura 3.13. Ensayo normal de penetración.



Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente, MS

- 22

Tabla 3.20. Ensayo de penetración.

	Resultado
Penetración [0.1 mm] =	91
Especificación técnica =	85 - 100

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.13. Ensayo de penetración.



Fuente: Elaboración propia

3.4.2. 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 los métodos AASHTO T - 72 y ASTM D - 88.

Tabla 3.21. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol.

	Resultado
Resultado [sfs] =	128
Especificación técnica =	Mínimo 85 sFS

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 3.14. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol.



Fuente: Elaboración propia

3.4.3. Ensayo de la 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.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T - 179 y ASTM D - 1754.

Tabla 3.22. Ensayo de la película delgada.

	% Pérdida de masa
Resultado =	1
Especificación técnica =	≤ 1 %

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 3.15. Ensayo de la película delgada.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. 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 detalla en los métodos AASHTO T - 51 y ASTM D - 113.

Tabla 3.23. Ensayo de ductilidad.

	Resultado
Lectura final de ensayo (cm.)	109
Especificación técnica =	≥ 100 cm

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 3.16. Ensayo de ductilidad.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. 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 de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T - 228 y ASTM D - 70.

Tabla 3.24. Ensayo de peso específico.

	Resultado
Peso específico C. A. [g/cm³] =	1,010
Especificación técnica =	1.00 - 1.05

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 3.17. Ensayo de peso específico.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. 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 procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T- 95 y ASTM D - 53.

Tabla 3.25. Ensayo de punto de ablandamiento por el método de anillo y bola.

	Resultado
Punto de ablandamiento °C =	45.0

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 3.18. Ensayo de punto de ablandamiento.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.7. Ensayo del porcentaje de agua en los materiales bituminosos.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T- 55 y ASTM D - 95.

Tabla 3.26. Ensayo del porcentaje de agua en los materiales bituminosos.

	Resultado
Resultado [% de volumen] =	0,1
Especificación técnica :	≤ 0.2 %

Fuente: Elaboración propia.

3.4.8. Ensayo de la adherencia del agregado – asfalto.

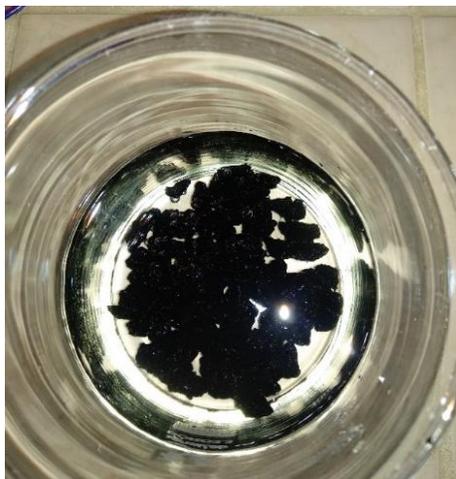
El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T - 182 y ASTM D - 1664.

Tabla 3.27. Adherencia agregado - Asfalto.

Resultado
Adherencia de agregado - Asfalto > 95%

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 3.19. Ensayo de adherencia de agregado - asfalto.



Fuente: Elaboración propia

3.5. TRABAJO DE LABORATORIO PARA AGREGADOS PÉTREOS TRATAMIENTO BITUMINOSO SUPERFICIAL.

Los ensayos de laboratorio de los agregados pétreos se presentan en el Anexo 2, 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 de la planta de asfaltos del servicio departamental de caminos SEDECA – Charaja.

Se presenta planilla resumen de las características de los agregados, según los ensayos ejecutados.

Tabla 3.28. Caracterización de los agregados pétreos para mezcla asfáltica en frío.

Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones	
			Mínimo	Máximo
Peso específico bulk agregado pétreo “B”	g/cm ³	2.607		
Peso específico bulk agregado pétreo “D”	g/cm ³	2.607		
Peso específico bulk agregado pétreo “E”	g/cm ³	2.607		
Resistencia a la abrasión desgaste de Los Ángeles	%	23		40
Durabilidad de agregado	%	4		12
Una (1) cara fracturada agregado grueso	%	92	90	
Dos (2) caras fracturadas agregado grueso	%	85	75	
Laminaridad agregado pétreo “B”	%	23.3		
Laminaridad agregado pétreo “D”	%	24.6		
Laminaridad agregado pétreo “E”	%	28.1		
Partículas alargadas agregado pétreo “B”	%	28.5		
Partículas alargadas agregado pétreo “D”	%	15.1		
Partículas alargadas agregado pétreo “E”	%	23.2		
Peso unitario suelto agregado “B”	kg/m ³	1437		
Peso unitario compactado agregado “B”	kg/m ³	1509		
Peso unitario suelto agregado “D”	kg/m ³	1418		
Peso unitario compactado agregado “D”	kg/m ³	1474		
Peso unitario suelto agregado “E”	kg/m ³	1476		
Peso unitario compactado agregado “E”	kg/m ³	1534		

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1. Ensayos de los agregados pétreos para tratamiento bituminoso superficial.

3.5.1.1. Análisis granulométrico.

La 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 hacen progresivamente más pequeñas, 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.

El equipo y los procedimientos para realizar el análisis granulométrico de los agregados se detallan en AASHTO T - 27 - 11

Tabla 3.29. Granulometría agregados pétreo tipo “B”.

Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del Total
1"	25,40	100,0
3/4"	19,05	96,8
1/2"	12,50	41,4
3/8"	9,53	11,8
Nº 4	4,75	1,9
Nº 8	2,36	0,1
Nº 40	0,43	0,1
Nº 200	0,075	0,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.30. Granulometría agregados pétreo tipo “D”.

Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del Total
1/2"	12,50	100,0
3/8"	9,53	99,5
Nº 4	4,75	24,2
Nº 8	2,36	5,5
Nº 40	0,43	2,0
Nº 200	0,075	0,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.31. Granulometría agregados pétreo tipo “E”.

Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del Total
3/8"	9,53	100,0
N° 4	4,75	91,8
N° 8	2,36	28,4
N° 40	0,43	7,5
N° 200	0,075	0,4

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 3.20. Ensayo de granulometría agregado pétreo “B”.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.2. Peso específico.

3.5.1.2.1. Peso específico del agregado tipo “B”.

El equipo y los procedimientos para la determinación del peso específico de los agregados gruesos se detallan en AASHTO T-85 y ASTM C-127.

Tabla 3.32. Peso específico agregado tipo “B y D”.

Resultados		
Peso específico bruto, base muestra s.s.s., G_{bs}	kg/m ³	2636
Peso específico bruto, base muestra secada al horno, G_b	kg/m ³	2607
Peso específico aparente, G	kg/m ³	2684
Por ciento absorción, % abs, $[(a - P_s) * 100] / P_s$	%	1,1

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.21. Peso específico agregado tipo “B y D”.



Fuente: Elaboración propia

3.5.1.3. Pesos unitarios suelto y compactado.

En este ensayo se analizan ciertas propiedades de los agregados que son muy importantes al momento de diseñar tratamientos bituminoso 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 equipo requerido y procedimiento para este ensayo se detalla en AASHTO T - 19 y ASTM C - 29.

Tabla 3.33. Peso suelto y compactado de agregado tipo “B”.

Resultados		
Peso Unitario suelto de la grava =	1437	kg/m ³
Peso Unitario compactado de la grava =	1509	kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.3.2. Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo “D”.

El equipo requerido y procedimiento para este ensayo se detalla en AASHTO T - 19 y ASTM C - 29.

Tabla 3.34. Peso suelto y compactado de agregado tipo “D”.

Resultados		
Peso Unitario suelto de la grava =	1418	kg/m ³
Peso Unitario compactado de la grava =	1474	kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.3.3. Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo “E”.

El equipo requerido y procedimiento para este ensayo se detalla en AASHTO T - 19 y ASTM C - 29.

Tabla 3.35. Peso suelto y compactado de agregado tipo “E”.

Resultados		
Peso Unitario suelto de la grava =	1476	kg/m ³
Peso Unitario compactado de la grava =	1534	kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.22. Peso unitario 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 equipo requerido y procedimiento para este ensayo se detalla en AASHTO T-96 y ASTM C-131.

Tabla 3.36. Desgaste por abrasión o desgaste de “Los Ángeles”.

Resultado		
Desgaste por abrasión %	=	23

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.23. Máquina de desgaste “Los Ángeles”



Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.24. 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 finos y gruesos a los agentes atmosféricos. El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T-104 y ASTM C-88.

Tabla 3.37. Desgaste por sulfatos.

Resultado	
PÉRDIDA EN PESO SOMETIDO A CINCO CICLOS EN SULFATO DE SODIO =	4 %

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.).

La cantidad del agregado que será tomada para hacer la prueba será tal, que esta pueda suministrar 200 piezas como mínimo de la fracción que debe ser probada.

3.5.1.6.1. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “B”.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en el método BRITISH STANDAR 812.

Tabla 3.38. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “B”.

Resultado
Índice de laminaridad = 23,3 %

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.6.2. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “D”.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en el método BRITISH STANDAR 812.

Tabla 3.39. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “D”.

Resultado
Índice de laminaridad = 24,6 %

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.6.1. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “E”.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en el método BRITISH STANDAR 812.

Tabla 3.40. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “E”.

Resultado
Índice de laminaridad = 28,1 %

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.25. Ensayo de laminaridad.



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”.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en el método BRITISH STANDAR 812.

Tabla 3.41. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “B”.

Resultado
Índice de laminaridad = 28,5 %

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.7.2. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “D”.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en el método BRITISH STANDAR 812.

Tabla 3.42. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “D”.

Resultado
Índice de laminaridad = 15,1 %

Fuente: Elaboración propia

3.5.1.7.3. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “E”.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en el método BRITISH STANDAR 812.

Tabla 3.43. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “E”.

Resultado
Índice de laminaridad = 23,2 %

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.26. Ensayo de agujas o alargamiento.



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.

3.4.1.8.1. Evaluación de una cara fracturada.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en el método ASTM D 5821.

Tabla 3.44. Ensayo de una cara fracturada.

Resultado
Porcentaje de caras fracturadas = 92 %

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.8.2. Evaluación de dos caras fracturadas.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en el método ASTM D 5821.

Tabla 3.45. Ensayo de dos caras fracturadas.

Resultado
Porcentaje de caras fracturadas = 85 %

Fuente: Elaboración propia

3.5. Procedencia de la emulsión asfáltica para tratamientos bituminosos superficiales.

La procedencia de la emulsión asfáltica es de Brasil, de la empresa STRATURA. Se obtuvo la emulsión asfáltica de la empresa privada TRICON el cual estaba realizando el diseño con tratamiento superficial del camino Quebrada las vacas – Entre Ríos.

Imagen 3.27. Emulsión asfáltica.



Fuente: Elaboración propia

3.6. TRABAJOS DE LABORATORIO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA.

EMULEX RR1C-E es una emulsión asfáltica catiónica especial, modificadas con polímeros, que presentan un excelente comportamiento y durabilidad ante los efectos de la climatología y las exigencias del tráfico pesado. Su formulación cuenta con elastómeros que brindan un alto poder de cohesión interna, alta adherencia, flexibilidad, resistencia al envejecimiento y exudación ante grandes variaciones de temperatura.

La emulsión asfáltica con que se emplea en el diseño y posterior conformación del tratamiento superficial triple, tiene la siguiente información técnica:

Origen:	BRASIL
Marca:	STRATURA
Producto:	EMULEX RR1C-E

Tabla 3.46. Ensayos de la emulsión asfáltica.

Ensayo	Unidad	Resultados	Especificaciones	
			Mínimo	Máximo
Peso específico emulsión asfáltica	g/cm ³	0.982		
Viscosidad Saybolt Furol, 50°C	sFS	32.4	20	70
Residuo de emulsión asfáltica por evaporación	%	60	62	
Adherencia de agregado - asfalto	%	>95 %	95	
Ensayos al residuo de la emulsión				
Penetración	0.1 mm	82	45	150
Punto de ablandamiento	°C	53	50	
Peso específico del residuo	g/cm ³	1.010		

Fuente: Elaboración propia

La emulsión asfáltica cumple con: REQUISITOS PARA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA EMULSIÓN ASFÁLTICA – Ficha técnica del fabricante.

3.7. ENSAYOS DE LABORATORIO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA.

3.7.1. Ensayo peso específico de emulsión asfáltica.

Tabla 3.47. Peso específico de emulsión asfáltica.

Resultado	
Peso específico emulsión asfáltica EMULEX RR1C-E	0,982 g/cm ³

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.28. Emulsión asfáltica.



Fuente: Elaboración propia

3.7.2. Ensayo Viscosidad Saybolt Furol.

El equipo requerido y procedimiento para este ensayo se detalla en AASHTO T - 72 y ASTM D - 88.

Tabla 3.48. Viscosidad Saybolt Furol de emulsión asfáltica.

	Resultado
Tiempo [sFS] =	32,4
Especificación técnica :	Mínimo 20 sFS

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.29. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol.



Fuente: Elaboración propia

3.7.3. Ensayo residuo de emulsión asfáltica por evaporación.

El equipo requerido y procedimiento para este ensayo se detalla en ASTM D - 244.

Tabla 3.49. Residuo de emulsión asfáltica por evaporación.

	Resultado
Residuo por evaporación =	60
Especificación técnica :	62

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.30. Ensayo de residuo de emulsión asfáltica.



Fuente: Elaboración propia

3.7.4. Ensayo de la adherencia del agregado – asfalto.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T - 182 y ASTM D - 1664.

Tabla 3.50. Adherencia agregado - asfalto.

Resultado
Adherencia de agregado - Asfalto > 95%

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.31. Adherencia de agregado - asfalto.



Fuente: Elaboración propia

3.7.5. Ensayo de 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 procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T- 95 y ASTM D - 53.

Tabla 3.51. Ensayo de punto de ablandamiento por el método de anillo y bola.

	Resultado
Punto de ablandamiento °C =	53

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 3.32. Ensayo de punto de ablandamiento.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.6. Ensayo de penetración del residuo.

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 los métodos AASHTO T - 49 y ASTM D - 5.

Tabla 3.52. Ensayo de penetración.

	Resultado
Penetración [0.1 mm] =	82
Especificación técnica =	45 - 150

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3.33. Ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN
DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. DISEÑO DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE MÉTODO DE MC LEOD.

La planilla de diseño de tratamiento superficial triple se realizó por el método de Mc Loed, la primera capa es con el agregado pétreo tipo “B” que las características del agregado se encuentran en el anexo 3 (diseño de mezclas asfálticas). Los parámetros del agregado, la altura media está en función del tamaño medio del agregado y del índice laminar, el contenido de vacíos en la capa de agregado está en función del peso unitario suelto del agregado y del peso específico bruto.

Los parámetros del material bituminoso son tablas empíricas que se utilizan como ser:

1. El factor de desperdicio (E).
2. Factor de tránsito (T).
3. Corrección por absorción del agregado (A).
4. Corrección por textura superficial (S).

Calculando y seleccionando todos los parámetros anteriores se obtiene el diseño de una capa de tratamiento superficial.

Este cálculo se debe de realizar para cada capa del tratamiento superficial triple, considerando los ensayos de laboratorio de cada agregado pétreo que se va emplear.

El origen, el tipo de emulsión asfáltica a utilizar y el porcentaje de asfalto que contiene son datos importantes para el diseño del tratamiento. A continuación, se presenta la tabla de tasas de materiales que utilizará para un tratamiento superficial triple.

Tabla 4.53. Tasa de emulsión y agregados pétreos a utilizar.

Tasas de materiales a emplearse en el tratamiento superficial triple			
Aplicación	Emulsión asfáltica		Agregado pétreo
	% aplicación por capa del total	Por capa	
		[l / m ²]	kg/m ²
PRIMERA	30%	1,20	18,8
SEGUNDA	40%	1,61	8,8
TERCERA	30%	1,20	4,1

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Aplicación en área de investigación.

La elaboración del tratamiento superficial en área de trabajo se empezó dando las condiciones de capa base en el área trabajo esto conlleva a realizar ensayos de laboratorio e in situ de la capa base como se observa en los anexos 1 (reporte fotográfico) y 2 (ensayos de laboratorio). Conjuntamente se realizaron los ensayos necesarios para el diseño del tratamiento superficial triple en laboratorio para luego realizar el diseño de tratamiento superficial triple anexo 3 (diseño de mezclas asfálticas).

Obteniendo todos los valores necesarios se realizó la aplicación del tratamiento superficial triple en el área de trabajo colocando las tasas de riego calculadas capa por capa y los agregados pétreos debidamente pesados en laboratorio.

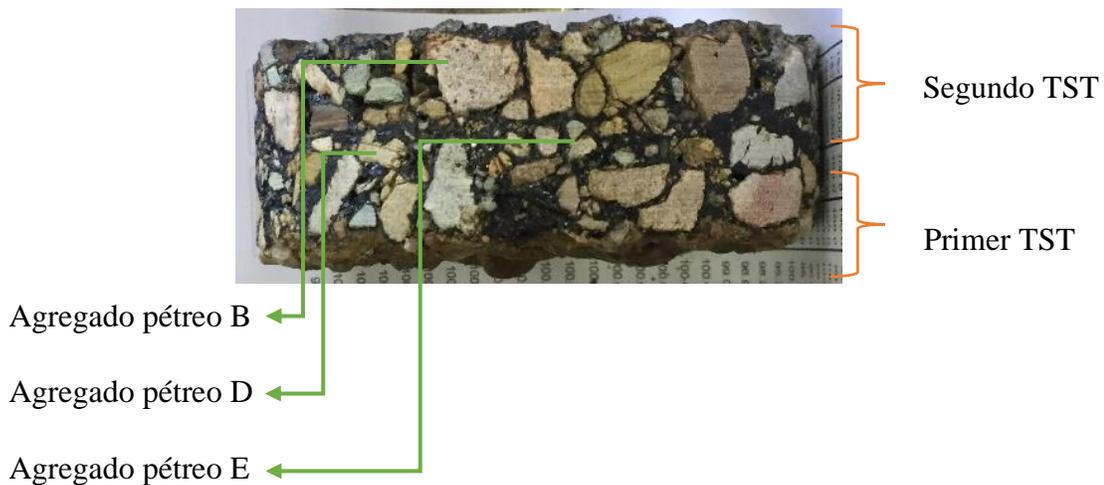
Seguidamente de haber finalizado el primer tratamiento superficial triple se hizo pasar vehículos por encima de este, para reacomodar las partículas.

Después de 3 meses se procedió a colocar el siguiente tratamiento superficial triple con las mismas tasas de riego de la emulsión asfáltica y agregado pétreo. Para el cual una vez terminado este proceso se realizó el mismo procedimiento de pasar vehículos sobre esta área de trabajo para reacomodar las partículas simulando un tramo real por 3 meses. Para luego realizar la extracción de núcleos.

Se obtuvo 8 núcleos del área de investigación, para el cual se ensayaron 4 núcleos en la prensa Marshall, 3 de ellos se desmoronaron al momento de colocarles en el baño María a 60°C, los 4 núcleos ensayados se lo realizaron a temperatura ambiente a 25°C. y no así a 60°C como se pretendía.

Los resultados de los núcleos del doble tratamiento superficial triple realizados en la prensa Marshall están reflejados en el siguiente capítulo.

Imagen 4.34. Núcleo del doble tratamiento superficial triple.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.54. Parámetros del diseño del tratamiento superficial.

Parámetros del diseño del doble tratamiento superficial triple			
Porcentaje de vacíos en la mezcla (%)	4,9	(3 – 5)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Relación Bitumen Vacíos RBV (%)	76.3	(75 – 82)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Estabilidad (Lb)	1403	(1500)	NO CUMPLE ESPEC. TÉC.
Fluencia (1/100")	18.3	(8 – 16)	NO CUMPLE ESPEC. TÉC.
Vacíos Agregado Mineral (VAM) %	20.5	>14	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Densidad Bulk de Mezcla Compactada (kg/m3)	2230		

Fuente: Elaboración propia

4.2. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE POR EL MÉTODO MARSHALL

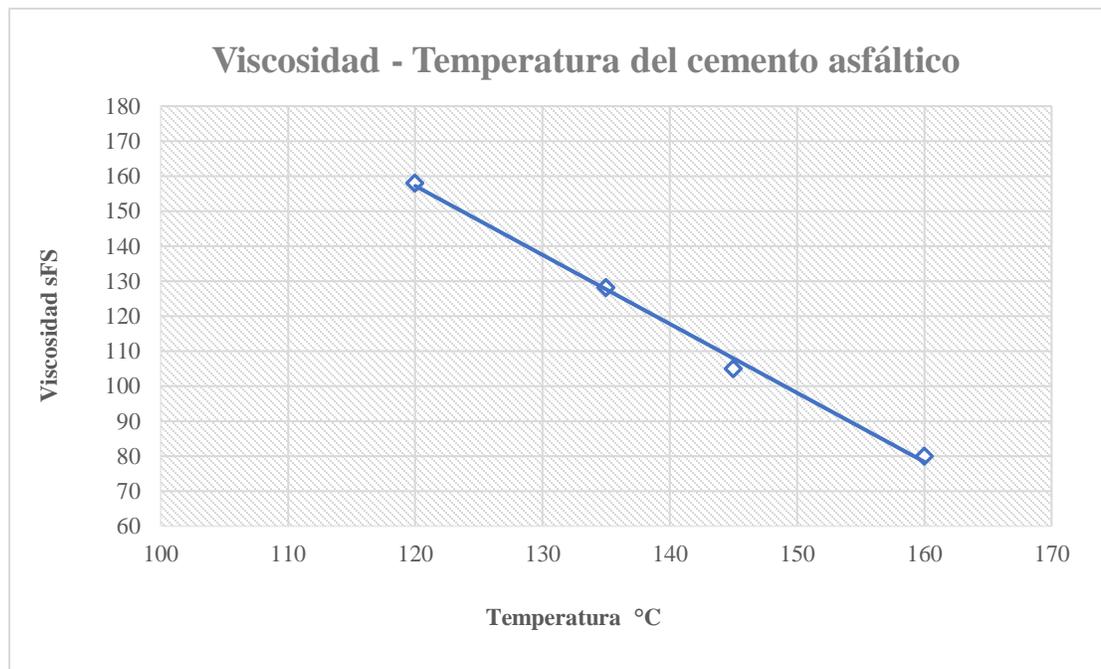
El cemento asfáltico cumple con: REQUISITOS PARA ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA CEMENTO ASFÁLTICO – AASHTO M 20, según lo requerido en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de construcción ABC.

Se han realizado ensayos de viscosidad Saybolt Furol a diferentes temperaturas, para determinar las temperaturas de mezclado y compactado de la mezcla.

Tabla 4.55. Temperatura vs viscosidad Saybolt Furol

Temperatura °C	Viscosidad Saybolt Furol sFS
120	158
135	128.1
145	105
160	80

Gráfica 4.1. Carta de viscosidad – Temperatura.



Fuente: Elaboración propia

Los datos de granulometrías de los agregados nos permiten por tanteos, dosificar la granulometría total del agregado para el diseño de la mezcla asfáltica.

La composición granulométrica del agregado será concerniente al análisis de la combinación granulométrica exigidos por las Especificaciones Técnicas que se utilizará para el proyecto.

Composición Granulométrica de la mezcla del agregado para el diseño; de acuerdo al Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de Construcción de la ABC, la composición granulométrica del agregado del concreto asfáltico deberá satisfacer una de las cuatro fajas de diseño: A – B – C – D, con los tamaños máximos de las partículas: 2” – 1 ½” – 1” – ¾”; respectivamente.

La faja de gradación para el diseño de la mezcla asfáltica será aquella cuyo diámetro máximo o tamaño máximo de la partícula sea igual o inferior a 2/3 del espesor de la capa de revestimiento o carpeta asfáltica.

Espesor de la carpeta asfáltica = 4.0 cm.

Tabla 4.56. Faja de gradación del agregado para el diseño de carpeta asfáltica.

Espesor carpeta asfáltica [mm]	2/3 del Espesor Carpeta asfáltica [mm]	Faja de gradación	Tamaño máximo de la partícula [mm]	Observaciones
50.00	33.33	A	50.00	El tamaño máximo de la partícula es mayor a los 2/3 del espesor de revestimiento. No Cumple
50.00	33.33	B	38.10	El tamaño máximo de la partícula es mayor a los 2/3 del espesor de revestimiento. No Cumple
50.00	33.33	C	25.40	El tamaño máximo de la partícula es menor a los 2/3 del espesor de revestimiento. <u>Cumple</u>

Fuente: Elaboración propia

La faja de gradación del agregado para el diseño de la carpeta asfáltica es la “C”.

Tabla 4.57. Especificaciones para la gradación de la mezcla.

Requisitos para la gradación de la mezcla		
Tamices	Abertura tamices (mm)	Faja C
1"	25.40	100
$\frac{3}{4}$ "	19.05	97 - 100
$\frac{1}{2}$ "	12.70	76 - 88 (5)
$\frac{3}{8}$ "	9.53	---
Nº 4	4.75	49 - 59 (7)
Nº 8	2.36	36 - 45 (6)
Nº 40	0.425	14 - 22 (3)
Nº 200	0.075	3 - 7 (2)

Fuente: Elaboración propia.

La composición granulométrica de los agregados sugerida para el diseño de la mezcla asfáltica, está referida a los siguientes porcentajes:

Tabla 4.58. Composición granulométrica de los agregados.

Material	Aporte
Grava de $\frac{3}{4}$ "	30 %
Grava de $\frac{3}{8}$ "	30 %
Arena triturada + filler	40 %
Total	100 %

Fuente: Elaboración propia

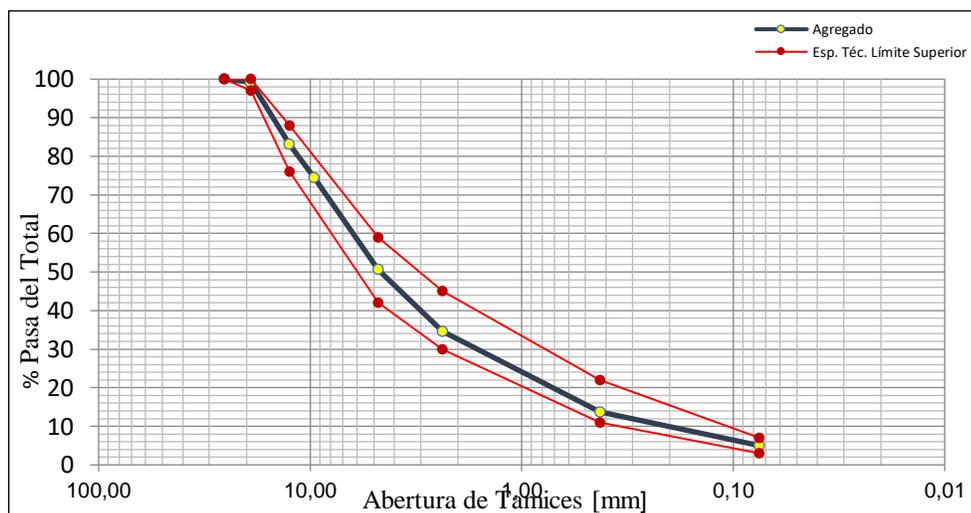
El resultado de la composición granulométrica del agregado, con las siguientes tolerancias utilizadas de la Especificación Técnica, es:

Tabla 4.59. Dosificación de los agregados.

Análisis granulométrico de dosificación de materiales										
Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del total			Dosificación de los agregados				Especificaciones técnicas de la gradación para la mezcla asfáltica - faja c	
		Agregado 3/4"	Agregado 3/8"	Arena Triturada con Filler	Agregado 3/4"	Agregado 3/8"	Arena Triturada con Filler	% Pasa del total	Límite Inferior	Límite Superior
					30%	30%	40%			
1"	25,40	100,0	100,0	100,0	30,0	30,0	40,0	100,0	100	100
3/4"	19,05	97,2	100,0	100,0	29,2	30,0	40,0	99,2	97	100
1/2"	12,50	43,5	100,0	100,0	13,0	30,0	40,0	83,0	76	88
3/8"	9,53	16,1	98,6	100,0	4,8	29,6	40,0	74,4		
Nº 4	4,75	1,7	33,6	100,0	0,5	10,1	40,0	50,6	42	59
Nº 8	2,36	1,4	4,9	81,7	0,4	1,5	32,7	34,6	30	45
Nº 40	0,425	0,9	3,1	31,2	0,3	0,9	12,5	13,7	11	22
Nº 200	0,075	0,7	1,6	10,8	0,2	0,5	4,3	5,0	3	7

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.2. Curva granulométrica de dosificación de materiales.



Fuente: Elaboración propia

Peso específico total y efectivo de los agregados. - Para los cálculos volumétricos del diseño de la mezcla asfáltica, se va calcular con los pesos específicos bulk y aparentes de los materiales, y con el peso específico aparente del filler. De acuerdo a las ponderaciones de la granulometría compuesta y los datos de ensayos de los pesos específicos, se obtiene el peso específico total y aparente ponderado del agregado:

Tabla 4.60. Ponderación de peso específico bulk de la mezcla.

Agregado	Peso esp. bulk g/cm³
Retiene N° 4	2.607
N° 4 - N° 200	2.583
Filler	2.756
Peso específico total	2.607
Mezcla:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.61. Ponderación de peso específico aparente de la mezcla.

Agregado	Peso esp. aparente g/cm³
Retiene N° 4	2.684
N° 4 - N° 200	2.746
Filler	2.756
Peso especif. aparente	2.716
Mezcla:	

Se va considerar el peso específico efectivo del agregado, el promedio entre los pesos específicos total y aparente.

Peso específico efectivo Mezcla:	2.660 g/cm³
---	-------------------------------

Fuente: Elaboración propia

Con la elaboración de briquetas en laboratorio a cinco diferentes porcentajes de asfalto, se ejecutaron ensayos de Peso específicos bulk mezcla bituminosa compactada ASTM D 2726, estabilidad y flujo en la prensa Marshall, de 15 briquetas para determinar el porcentaje óptimo de asfalto.

Luego se ejecutaron seis briquetas con el porcentaje óptimo de asfalto, con la finalidad de determinar el porcentaje de la estabilidad remanente.

El contenido óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica en caliente es de 5.8 % en base de la mezcla.

Con el contenido óptimo de asfalto determinado, la mezcla cumple con el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, estabilidad mínima requerida, fluencia, porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM), porcentaje de vacíos llenos de asfalto – relación de bitumen vacíos (RBV), resistencia remanente mínima.

Determinación del contenido óptimo de asfalto, tomando en cuenta criterio del promedio de los contenidos de asfalto a: % Vacíos en la mezcla del 4 %, densidad máxima de mezcla compactada, y estabilidad máxima. El contenido óptimo del cemento asfáltico es de 5.8%. En la tabla siguiente se presenta otros parámetros encontrados del diseño de la mezcla asfáltica.

Tabla 4.62. Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall.

Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall			
Porcentaje de vacíos en la mezcla (%)	3,9	(3 – 5)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Relación bitumen vacíos RBV (%)	75	(75 – 82)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Estabilidad (75 golpes) Lb	3096	(1500)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Fluencia (1/100")	11,1	(8 – 16)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Vacíos agregado mineral (VAM) %	> 14		CUMPLE ESPEC. TÉC.
Densidad bulk de mezcla compactada (kg/m3)	2335		
Relación polvo - asfalto	1,0	(0.6 – 1.3)	CUMPLE ESPEC. TÉC.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.63. Resistencia remanente Marshall.

Resistencia remanente Marshall

Estabilidad a los 30 minutos de inmersión en agua 60 °c = 3134 Lb
Estabilidad a las 24 horas de inmersión en agua 60 °c = 2770 Lb
Estabilidad remanente con respecto a la estabilidad Marshall (min. 85%) = 88.4 %

Fuente: Elaboración propia.

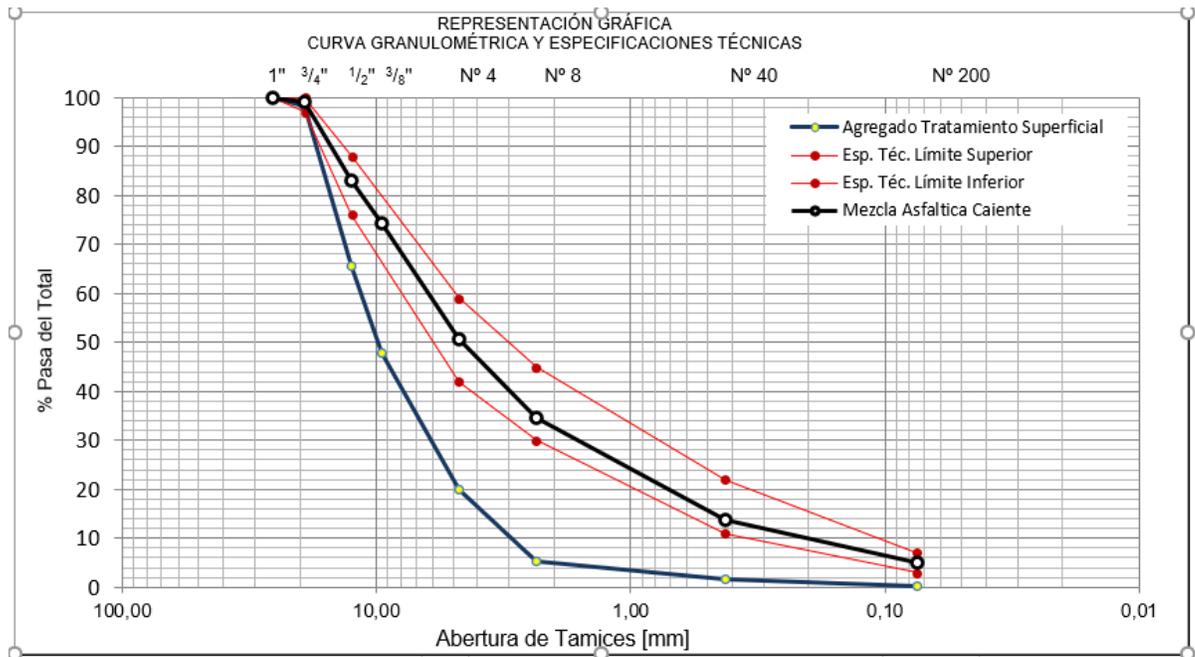
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.3.1. Análisis técnico.

Cuadro comparativo de las curvas granulométricas de ambos diseños que se realizaron, en línea negra se puede observar el diseño de la mezcla asfáltica en caliente y las especificaciones técnicas en línea roja. En línea azul se observa la gradación granulométrica combinada de los tres agregados pétreos utilizados para realizar el tratamiento superficial triple.

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (línea negra) es más densa y presenta una mejor gradación con un aporte de pasa N°200 del 5.0% (relleno mineral denominado filler), el agregado grueso es de 65.4% y el agregado fino es de 34.6%. A diferencia del tratamiento superficial triple la gradación que presenta es más gruesa ya que el agregado grueso es de 94.7% y el agregado fino es de 5.3%.

Gráfica 4.3. Comparación de curvas granulométricas en dosificación de materiales.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.64. Comparación de porcentajes de agregados en los diseños asfálticos.

Cuadro Comparativo de porcentajes de agregados pétreos			
Tratamiento superficial triple		Carpeta asfáltica	
Agregado pétreo tipo "B"	59%	Agregado pétreo 3/4"	30%
Agregado pétreo tipo "D"	28%	Agregado pétreo 3/8"	30%
Agregado pétreo tipo "E"	13%	Arena triturada + filler	40%

Fuente: Elaboración propia

En la extracción de núcleos se obtuvo parámetros comparativos entre ambos diseños de mezclas asfálticas se puede evidenciar las claras diferencias que existen entre ambos, a continuación, se presentaran cuadros comparativos.

Tabla 4.65. Mezcla asfáltica en caliente.

Parámetros del diseño mezcla asfáltica y marshall			
Porcentaje de vacíos en la mezcla (%)	3,9	(3 – 5)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Relación bitumen vacios RBV (%)	75	(75 – 82)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Estabilidad (75 golpes) Lb	3096	(1500)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Fluencia (1/100")	11,1	(8 – 16)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Vacíos agregado mineral (VAM) %	> 14		CUMPLE ESPEC. TÉC.
Densidad bulk de mezcla compactada (kg/m3)	2335		
Relación polvo - asfalto	1,0	(0.6 – 1.3)	CUMPLE ESPEC. TÉC.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.66. Mezcla asfáltica en frío.

Parámetros del diseño del doble tratamiento superficial triple			
Porcentaje de vacíos en la mezcla (%)	4,9	(3 – 5)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Relación Bitumen Vacíos RBV (%)	76.3	(75 – 82)	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Estabilidad (Lb)	1403	(1500)	NO CUMPLE ESPEC. TÉC.
Fluencia (1/100")	18.3	(8 – 16)	NO CUMPLE ESPEC. TÉC.
Vacíos Agregado Mineral (VAM) %	20.5		CUMPLE ESPEC. TÉC.
Densidad Bulk de Mezcla Compactada (kg/m3)	2230		

Fuente: Elaboración propia

La estabilidad obtenida en el doble tratamiento superficial triple es del 45% respecto de la mezcla asfáltica en caliente; esto puede ser debido a la falta de agregado fino y una gradación más densa, con aporte de relleno mineral tipo filler.

Imagen 4.35. Núcleos de las mezclas asfálticas.



Doble tratamiento superficial triple

Carpeta asfáltica

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Análisis económico.

En el análisis económico se presentan la comparación entre una carpeta asfáltica por m² con un espesor de 4.0 cm. y un doble tratamiento superficial triple expresada en m² la unidad de medida.

Tabla 4.67. Comparación de precios unitarios.

Carpeta asfáltica		Doble tratamiento superficial triple	
Precio unitario	105.36 Bs.	Precio unitario	97.50 Bs.
Unidad de medida	m ²	Unidad de medida	m ²

Fuente: Elaboración propia

El doble tratamiento superficial triple es más barato respecto a una carpeta asfáltica en caliente. El precio de los materiales es más barato para un doble tratamiento superficial triple que una carpeta asfáltica, esto se debe por el precio de la emulsión asfáltica, esta es más barata por m² que una carpeta asfáltica y los agregados son casi iguales en los costos. En la mano de obra, en equipos y maquinaria el tratamiento superficial es más económico esto se debe a que no se requiere mucho personal y equipos en comparación de una carpeta asfáltica en caliente. En conclusión, económicamente es más barato realizar un doble tratamiento superficial que una carpeta asfáltica entre otras ventajas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

- La determinación del contenido óptimo de asfalto para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente, se ha tomado en cuenta criterio del promedio de los contenidos de asfalto a: % porcentaje de vacíos en la mezcla del 4%, densidad máxima de la mezcla compactada y de estabilidad máxima.
- El diseño de la mezcla asfáltica en caliente propuesta, cumple con parámetros de estabilidad mínima, fluencia, porcentaje de vacíos totales en la mezcla, porcentaje de vacíos del agregado mineral, relación bitumen vacíos.
- La mezcla diseñada, cumple con la estabilidad remanente mínima (85 %). Valor estabilidad remanente del diseño de la mezcla : 88.4 %.
- La determinación de las temperaturas de mezclado y compactado para la mezcla en caliente, están referidas a las recomendadas por el Instituto de Asfalto. Para el mezclado la temperatura del asfalto debe producir una viscosidad de 170 ± 20 centistokes cinemática, y 280 ± 30 centistokes cinemática para la compactación.
- La temperatura del cemento asfáltico para el mezclado en la elaboración de las briquetas, ha sido de 155 °C.
- El agregado se calienta a 170°C. – 180°C. según la norma para asfaltos convencionales, para la investigación se calentó el agregado a una temperatura constante de 170°C.
- La temperatura de la mezcla para el compactado en la elaboración de las briquetas, ha sido de 133 °C.
- Las temperaturas citadas están referidas a la carta de viscosidad – temperatura del cemento asfáltico del diseño, recomendaciones del Instituto de Asfalto.
- La temperatura de los agregados ha sido calentada a más 10 o 15 grados centígrados respecto del cemento asfáltico, para obtener un adecuado mezclado homogéneo entre al asfalto y los agregados.
- La combinación de los agregados cumple Especificaciones Técnicas para una mezcla asfáltica en caliente.

- Las Especificaciones Internacionales recomiendan la relación filler/asfalto, entre 0.6 – 1.3.
- La relación filler/asfalto de la mezcla es de 0.86, respecto al porcentaje de asfalto total.
- Se ha tomado como parámetros de diseño de la mezcla asfáltica en caliente, la Especificación Técnica, MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES DE CONSTRUCCIÓN, de la ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS ABC. Rubro 2: PAVIMENTACIÓN → CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO MEZCLADO EN CALIENTE.
- Para el diseño de tratamiento superficial se tomaron en cuenta todos los valores obtenidos en laboratorio y las consideraciones necesarias para el área de trabajo o de investigación en el cual se trabajaron.
- El índice laminar o las partículas alargadas es un poco elevado para un tratamiento superficial, esto puede llevar a que la mezcla no sea más estable.
- Para realizar la tasa de riego de la emulsión asfáltica esta se la calentó a 50°C para que esta se encuentre menos viscosa y su trabajabilidad sea mejor.
- Los núcleos que se obtuvieron del doble tratamiento superficial triple no se los ensayaron como se pretendía en la prensa Marshall, ya que las briquetas al momento de colocarlas en baño María a 60°C estas empezaron a desmoronarse.
- Los núcleos del doble tratamiento superficial triple, fueron ensayados en la prensa Marshall para medir la estabilidad y fluencia, a temperatura ambiente, 25 °C.
- Una gran ventaja de trabajar con tratamientos superficiales, es la reducción de la contaminación ambiental que es menor a la ejecución de una carpeta asfáltica en caliente, ya que para realizar una carpeta asfáltica se requiere mayor equipo o maquinaria y estas producen un mayor consumo de combustibles ya sea para calentar la mezcla asfáltica y el cual se convierte en dióxido de carbono que va a la atmósfera.
- Los tratamientos superficiales dobles pueden ser una alternativa a una carpeta asfáltica para una red departamental o municipal donde el tráfico sea mediano o liviano.

- La vida de diseño o periodo de diseño, para la carpeta asfáltica de 4 cm. es de 10 años esto para un tráfico liviano o mediano y el periodo de diseño para el doble tratamiento superficial triple es de 8 años.
- No existe una receta definida en los libros y artículos de que es mejor colocar en una carretera si carpeta asfáltica o tratamiento superficial, el fin de la investigación es poder dar mayor información al ingeniero que diseñará para poder elegir de mejor manera tanto técnica y económica que es lo mejor que se adapte para el requerimiento del Tráfico liviano – mediano y el TPD.
- Se realizaron 15 briquetas por las recomendaciones de las normas utilizadas en el proyecto, cual me sugiere realizar 3 briquetas por cada contenido de asfalto esto con el fin de conseguir la curva de densidad máxima – contenido de asfalto.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Los tratamientos superficiales se pueden realizar en carreteras de la red departamental y municipales, ya que su tráfico es menor y de vehículos más livianos que en una red fundamental.
- Seleccionar agregados pétreos para un tratamiento superficial de forma más cúbica y menos laminar ayuda a encontrar espesores más elevados del tratamiento superficial.
- Considerar el uso de rodadura mediante tratamiento superficiales bituminoso con emulsión asfáltica para tráfico livianos y medianos, para disminuir el impacto ambiental que generan las plantas asfálticas en caliente.
- Para realizar carpetas asfálticas en caliente es necesario tener cuidado cuando se esté calentado el cemento asfáltico, para que no pierda sus propiedades ligantes.