

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Una de las estrategias de desarrollo para el Departamento de Tarija es el mejoramiento de las vías rurales mediante las capas de rodadura (tratamiento superficial e imprimación reforzada), las mismas son alternativas de mejora superficial, cuya función es conectar poblaciones, provincias, comunidades, etc.

La función principal de estas capas de rodadura es de proteger a la calzada de irregularidades que se presentan en la misma, de proporcionarle una superficie antideslizante y estable.

Uno de los grandes problemas que afrontan los habitantes de la comunidad de Obrajes desde mucho tiempo atrás y en la actualidad es el bajo nivel de accesibilidad ocasionado por la falta de mejoramiento y mantenimiento vial de dicho camino, debido a lo mencionado se les presentan varios inconvenientes, como ser el de llevar sus productos hacia la ciudad, así también el de traer productos de primera necesidad hacia sus hogares.

Por otra parte, para las personas que necesitan atención médica se les dificulta el acceso a este servicio por no tener un buen camino.

También se pudo evidenciar que la comunidad cuenta con un atractivo turístico y debido a que la vía se encuentra en un pésimo estado no se puede visitar el mismo.

Esta situación se debe a que el camino se encuentra en mal estado, debido al bajo mantenimiento que se realiza del mismo, por este motivo se hace un poco difícil transitar por el mismo, incluso inaccesible, mucho más en tiempo de lluvias, donde se presenta una serie de irregularidades superficiales como ser ahuellamientos, erosión de la superficie, etc., al mismo tiempo esto origina y presenta varios problemas que afectan económicamente a la comunidad.

El proyecto trata precisamente de plantear la mejor alternativa de una vía caminera rural de vinculación, con condiciones buenas de estabilidad y transitabilidad durante todo el

año. Situación que se logrará con el análisis y comparación de alternativas de capa de rodadura para mejorar la superficie del camino rural de la comunidad de Obrajes.

La importancia que tiene este proyecto de realizar el análisis y comparación de alternativas de capa de rodadura en la calzada del tramo de la comunidad de Obrajes consiste en que pretende dar la mejor alternativa de mejora superficial a un costo menor, obteniendo resultados similares a un asfaltado, produciendo un gran impacto en el desarrollo de la comunidad.

## **JUSTIFICACIÓN**

Una de las necesidades más importantes para el desarrollo de las diferentes regiones del País y del Departamento de Tarija es la construcción de caminos, por tal motivo nace la idea de realizar un estudio de investigación de análisis y comparación de alternativas de capa de rodadura como tipos de mejora superficial, tratamiento superficial e imprimación reforzada aplicado en la comunidad de Obrajes. De esta manera garantizar la transitabilidad del camino durante todo el año, mediante la realización del dimensionamiento de una capa de rodadura en óptimas condiciones, y que sea eficientemente adecuado a las características de la zona en la cual se ejecute.

Esto nos lleva a efectuar el análisis del estudio de *“La comparación técnico económica entre el tratamiento superficial, imprimación reforzada y ripiado”*, por lo cual nos dará un resultado óptimo durante el dimensionamiento de la capa de rodadura de estas dos alternativas, tomando en cuenta un factor de gran importancia como es el costo del mismo, de tal forma que se tenga una capa de rodadura con las mejores características.

Para realizar este estudio comparativo entre estas dos capas de rodadura se tendrá un apoyo de parte de los laboratorios de suelos y asfaltos de la universidad, los cuales nos permitirán hacer los ensayos respectivos para el diseño y ejecución de los tratamientos superficiales como para la imprimación reforzada.

Al efectuarse este trabajo se pretende hacer conocer las características de cada una de las capas de rodadura, de tal manera que sea un aporte a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, especialmente a la Carrera de Ingeniería Civil.

## **1. DISEÑO TEÓRICO**

### **1.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA**

Actualmente en el camino rural de la comunidad de Obrajes, ubicada en la Provincia Cercado se tienen inconvenientes por motivos de bajo mantenimiento.

Al ser un camino de tierra se hace inaccesible transitar por el mismo, tanto para los vehículos como para las personas que viven ahí, especialmente en épocas de lluvia cuando aparecen irregularidades como fallas superficiales (ahuellamientos, erosión de la calzada, etc.), por lo tanto el camino rural no se encuentra estable todo el año.

En esta época se les hace difícil a los comunarios llevar sus productos a la ciudad, también transportar productos de primera necesidad hacia sus hogares, generando pérdidas económicas para la comunidad; de la misma forma a la gente que necesita atención médica le es difícil acudir a un centro de salud.

Al mismo tiempo la comunidad de Obrajes tiene atractivo turístico y debido a que la vía no tiene accesibilidad durante todo el año se dificulta el acceso al lugar.

Es evidente que existe una pérdida económica por el bajo flujo de personas, por ser un tramo que tiene un nivel de bajo tráfico no se justifica su asfaltado, por lo que la mejor alternativa para la calzada sería mejorar su calidad superficial.

## **1.2. PROBLEMA**

¿Cuál es la mejor alternativa de capa de rodadura de tratamientos superficiales e imprimación reforzada para mejorar el nivel de accesibilidad de la calzada en el tramo del camino rural de la comunidad de Obrajes, ubicada en la provincia Cercado del Departamento de Tarija?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL:**

- Realizar el análisis comparativo técnico y económico de alternativas de capa de rodadura como tipos de mejora superficial de tratamiento superficial, imprimación reforzada y ripiado aplicado en el tramo del camino rural de la comunidad de Obrajes-Tarija.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Determinar las principales características y propiedades físico-mecánicas del suelo en estudio, mediante los ensayos de Granulometría, Límites de Consistencia, Compactación T-180, Capacidad de Soporte (CBR)
- Analizar la accesibilidad del camino de la comunidad de Obrajes.
- Analizar el costo y frecuencia de mantenimiento del camino de la comunidad de Obrajes.
- Analizar las metodologías de mantenimiento como ser la imprimación reforzada, tratamiento superficial y ripiado.
- Identificar y caracterizar los bancos de material para los tratamientos superficiales e imprimación reforzada.
- Realizar una comparación de las propiedades de ambas alternativas.

#### **1.4. HIPÓTESIS:**

La mejor capa de rodadura para el tramo de la Comunidad de Obrajes entre ambas alternativas las cuales son (tratamiento superficial, imprimación reforzada y el ripiado) es la imprimación reforzada debido a que la misma mejorará la accesibilidad y nivel del tráfico del camino rural a un menor costo y teniendo resultados técnicamente similares a los tratamientos superficiales.

#### **1.5. DEFINICIÓN DE VARIABLES**

Las variables son propiedades que fluctúan y cuya variación es susceptible de medición u observación.

En este proyecto se determinó las siguientes variables:

VARIABLE DEPENDIENTE.-

-Mejorará la accesibilidad en el camino rural.

VARIABLE INDEPENDIENTE.-

- Tipo de capa de rodadura.

## **2. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **2.1. UNIDAD DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL**

- **UNIDAD DE ESTUDIO**

La unidad de estudio de este trabajo es la pavimentación de carreteras con asfalto.

- **POBLACIÓN**

La población escogida de la unidad de estudio son los tratamientos superficiales, éstos son utilizados como capas de protección sobre caminos estabilizados o como conservación de pavimentos asfálticos

- **MUESTRA**

La muestra tomada en cuenta dentro de la población es la realización de dos alternativas de capa de rodadura, una es de tratamiento superficial, imprimación reforzada y ripiado como tipos de mejora superficial aplicada a la calzada del tramo rural de la comunidad de Obrajes, ambas serán realizadas en el laboratorio de la universidad, posteriormente se realizará un análisis y comparación de ambas alternativas y de éstas se determinará cuál es la más óptima, tomando en cuenta su costo de mantenimiento

- **MUESTREO**

Se ha seleccionado el uso de la imprimación reforzada porque utilizará la menor cantidad de material asfáltico obteniendo resultados similares a los tratamientos.

En el muestreo se realizará específicamente el sitio en el cual se hará el análisis de imprimación reforzada que es la comunidad de Obrajes (CAPÍTULO III)

### **2.2. MÉTODOS TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS**

La metodología utilizada para el desarrollo del presente trabajo consiste en:

**1.- REALIZAR ENCUESTAS Y ENTREVISTAS A LOS HABITANTES DE LA COMUNIDAD ACERCA DEL CAMINO.**

**2.- VERIFICAR LAS PROPIEDADES DEL ASFALTO MEDIANTE LA REALIZACIÓN DE LOS SIGUIENTES ENSAYOS EN LABORATORIO, PENETRACIÓN, VISCOSIDAD, PUNTO DE IGNICIÓN, PUNTO DE ABLANDAMIENTO Y PESO ESPECÍFICO.**

**3.-IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE BANCOS DE MATERIAL DE LA COMUNIDAD.**

Se realiza la visita al lugar para identificar dónde existe material necesario para efectuar los respectivos ensayos, se extrae un porcentaje de muestra para llevarla al laboratorio. Posteriormente se realizarán los ensayos correspondientes para poder clasificar el material con el método ASTHHO.

**4.- DIMENSIONAMIENTO DE LA CAPA DE RODADURA PARA EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL E IMPRIMACIÓN REFORZADA**

Para realizar los diseños de los tratamientos superficiales no existe ningún tipo de métodos que sea aplicable a todos los tipos, por consiguiente se realizará el diseño de los tratamientos superficiales con el método de Hanson.

**5.- REALIZACIÓN DE PROBETAS**

Se realizará 30 probetas para tratamientos superficiales e imprimación reforzada, éstos se los realizará en moldes de las siguientes dimensiones  $a=50\text{cm}$   $b=50\text{cm}$   $h=15\text{cm}$  primeramente se realizará el dimensionamiento de la base, seguidamente se calculará las cantidades de agregado y de cemento asfáltico para poder realizar la respectiva mezcla de ambas alternativas; posteriormente se realizará el proceso de compactación (CAPÍTULO II) mediante un rodillo y después se medirá las penetraciones de asfalto sobre la base.

**2.3. PREPARACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS**

Luego de que se obtenga toda la información de la parte teórica se realizará una inspección de toda esta información, después de realizar la misma se revisará la parte práctica del documento, también se podrá realizar una evaluación y comparación de costo.

Se verificarán todos los equipos del laboratorio de asfaltos, controlando las especificaciones dadas para poder realizar los respectivos ensayos.

## **2.4. TRATAMIENTOS ESTADÍSTICOS**

Todos los datos obtenidos serán manejados a través de datos estadísticos, para tener mayor confiabilidad, evitando valores muy disparados.

A medida que se va realizando el diseño de ingeniería (CAPÍTULO III), se obtendrán datos, todos estos datos se los trabajará estadísticamente determinando la media y la desviación, para así poder tener una mayor seguridad del trabajo a realizar.

## **2.5. ALCANCE DEL PROYECTO**

Para la correcta realización de este trabajo deben ser definidos ciertos límites:

El proyecto se realizará en la comunidad de Obrajes, ubicada en la Provincia Cercado de Tarija, Bolivia.

Se realizará un dimensionamiento de alternativas de capas de rodadura con la metodología de la imprimación reforzada, tratamientos superficiales y el riplado, paso a paso en el laboratorio.

Se realizará una evaluación de la debilidad técnica y económica de ambos métodos de mejora superficial (imprimación reforzada, tratamiento superficial y el riplado), para determinar cuál es el método más óptimo.

También se realizará una comparación económica con la metodología del riplado.

Se realizará la clasificación y caracterización de la subrasante de la calzada del camino rural de la Comunidad de Obrajes.

Se realizarán ensayos de suelos en los laboratorios para poder determinar los CBR de la calzada del camino rural.

Se clasificará y caracterizará los materiales de banco para la capa base y para los tratamientos superficiales e imprimación reforzada.

Se realizará el control de calidad del cemento asfáltico en el laboratorio de asfaltos mediante los siguientes ensayos: penetración, viscosidad, punto de ignición, punto de ablandamiento y peso específico.

Se realizarán ensayos de tratamientos superficiales e imprimación reforzada en el laboratorio mediante moldes de las siguientes dimensiones  $A=50\text{cm} \times 50\text{cm}$   $H=15\text{cm}$

Se trabajará con teoría de pavimento flexible para carreteras, bajo la norma AASHTO

Se realizará una propuesta entre ambos métodos para determinar cuál es la mejor alternativa de mejora superficial.

## **CAPÍTULO II**

### **MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

#### **2.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Las mezclas asfálticas, conocidas también con el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua, éste se fabrica en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al., 2004).

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

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos, grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen, tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

#### **2.2. TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

##### **2.2.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

#### **ASFALTO**

El asfalto es un material de los llamados termoplásticos, el cual es muy complejo desde el punto de vista químico ya que es obtenido como el residuo en el proceso de refinación del petróleo crudo. Esto hace que el control de calidad de este material sea pobre, además de que sea una mezcla muy compleja de estructuras químicas complicadas. Sin embargo, este es un material de suma importancia para la industria de la construcción por sus propiedades de consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad, y sobre todo por el bajo costo ya que, como mencionamos, es el residuo en el proceso de refinación del petróleo (Rivera E. Gustavo 1998). El asfalto tiene varios nombres como: asfalto o bitumen, nafta-betunes, betún, cemento asfáltico, chapopote. Este producto fue conocido alrededor del año 2500 a. C. en Egipto, aunque en esa época no se usaba en la construcción de caminos.

El asfalto tiene una gran variedad de aplicaciones; entre las que podemos mencionar: carpetas asfálticas, adhesivos, sellantes, impermeabilizantes, mastiques, etc. Los volúmenes de uso del asfalto son muy grandes, sobre todo en lo referente a la fabricación de carpetas asfálticas en donde es, sin duda, el material más importante. El amplio uso del asfalto en la construcción de carreteras es debido, en gran medida, a su bajo costo y a sus propiedades de hidrofobicidad y una relativa resistencia al intemperismo.

## **TIPOS DE CURADO**

- **ASFALTO DE CURADO RÁPIDO:**

Es aquel cuyo disolvente es del tipo de la nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos rebajados de curado rápido y se designan con las letras RC (*Rapid Curing*), seguidos por un número que indica el grado de viscosidad cinemática en *centi-strokes*.

- **ASFALTO DE CURADO MEDIO:**

El disolvente de este asfalto es queroseno, y se designa con las letras MC (*Medium Curing*), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en *centi-strokes*.

- **ASFALTO DE CURADO LENTO:**

El disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil y se designa por las letras SC (*Slow Curing*), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en *centi-strokes*.

### **2.2.2 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO**

Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

### **2.2.3 TIPOS DE RIEGO**

#### **RIEGO DE LIGA**

El riego de liga se define como una aplicación simple de material bituminoso a una base o superficie bituminosa, el cual tiene como objetivo proporcionar adhesión entre la superficie existente y la nueva superficie bituminosa o carpeta. Cuando se construye una superficie de bituminoso, la capa de cimentación se rocía con un material bituminoso líquido. Dependiendo de la naturaleza de la capa de cimentación, el tratamiento se llama riego de imprimación o riego de liga.

#### **RIEGO DE IMPRIMACIÓN**

Los riegos de imprimación se obtienen por aplicación de un ligante fluido de baja viscosidad sobre una superficie no tratada anteriormente con ningún conglomerante o ligante (Capa granular o explanada). Se pretende que el riego penetre lo más posible y prepare la superficie de apoyo y contribuya a la sujeción de la capa bituminosa o tratamiento superficial posterior.

### **2.3. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

Los tratamientos superficiales son procesos de aplicaciones de asfalto o emulsión asfáltica con material granular cuyo objeto es dotar una mejor superficie de rodadura a un camino vial mejorando las propiedades del mismo.

Los tratamientos superficiales pueden ser utilizados como capas de protección sobre caminos estabilizados o como conservación de pavimentos asfálticos. Los objetivos que se

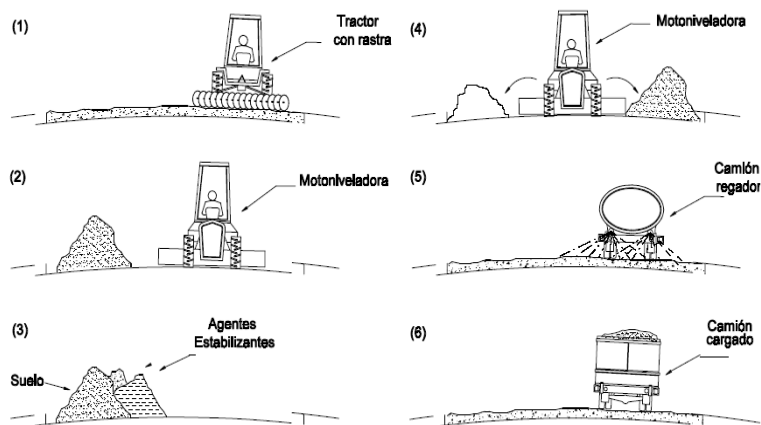
persiguen son la protección, impermeabilización y mejoramiento de la capa de rodadura, proporcionando además una superficie antideslizante.

## **FUNCIONES DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

Un tratamiento superficial por sí mismo no es considerado un pavimento. Básicamente brinda una cubierta impermeable a la superficie existente de la calzada y resistencia abrasiva del tránsito. Algunas de las funciones más comunes son:

- Proveer una superficie económica y duradera para caminos con bases granulares que tienen tránsitos ligeros y de mediano volumen.
- Suministrar una superficie para todos los climas a bajo costo, en condiciones de tránsito ligero a medio.
- Suministrar una superficie antideslizante.
- Prevenir la penetración superficial de agua en bases granulares y pavimentos viejos que han comenzado a desintegrarse por el tiempo o a fisurarse.
- Rellenar huecos, recubrir y ligar partículas minerales desprendidas y restaurar la superficie del pavimento.
- Renovar superficies y restaurar la resistencia al deslizamiento de pavimentos deteriorados por el tránsito en los cuales los agregados superficiales han comenzado a pulirse.
- Restaurar capas de rodamientos afectadas por los agentes climáticos y dar nueva vida a superficies de pavimentos resacas.
- Proveer una cubierta temporaria en los casos de construcción de pavimentos incompletos y demorados o cuando se trata de una construcción por etapas.
- Paliar el polvo.
- Asegurar la adherencia de las capas asfálticas superiores con las bases granulares (riego de imprimación).
- Asegurar la trabazón entre la superficie que está siendo pavimentada y la capa superior (riego de liga).
- Definir bermas para que no se confundan con carriles de circulación.
- Suministrar franjas ruidosas para seguridad.

## **PROCESO CONSTRUCTIVO**



*FIGURA N° 1 Proceso constructivo del tratamiento superficial*

### **Preliminares**

- El asfalto debidamente aplicado sostendrá el agregado, y sin llenar los baches, impermeabilizará y no dejará pasar el aire hacia la superficie. Para obtener estos resultados debe esparcirse una fina capa o membrana de asfalto sobre la superficie sin agregado de ningún tipo.
- La cubierta del agregado se esparcirá uniformemente, a lo sumo dentro del minuto después de aplicado el asfalto. La precisión con que debe procederse requiere un número de camiones suficiente, con carga de agregado, ya listo para su aplicación, a fin de poder cubrir completamente la fina capa de asfalto en un lapso mínimo.
- Para obtener los resultados deseados se requiere tiempo exacto y coordinación. Inmediatamente después de la aplicación del asfalto, el agregado debe ser esparcido y asentado en su lugar por medio de la aplanadora para obtener una superficie lisa y compacta, de textura llana.
- El aplanamiento debe interrumpirse tan pronto como el asfalto se haya endurecido, o de otro modo, la junta entre la superficie y el agregado será inevitablemente rota por la aplanadora.
- El tráfico deberá ser desviado o en último caso, controlado a una velocidad no superior a 14 Km. por hora, hasta que el asfalto se haya asentado. Este tiempo variará, de acuerdo con las condiciones climáticas.

### **Preparado**

- Consiste en la aplicación de asfalto a la superficie de una capa base sin asfalto, con los propósitos siguientes:
- Impermeabilizar la superficie de la base.
- Sellar y juntar las partículas sueltas de material inerte.
- Endurecer la superficie.
- Promover una adhesión entre la base y el tratamiento.

### **Colocación de la capa superficial**

- Sobre la superficie preparada de la base se esparce de 1 a 2,5 litros, por metro cuadrado de superficie, de asfalto líquido de baja viscosidad, y se le hace penetrar lo más profundamente posible. Si el asfalto no es absorbido por completo en las próximas 24 horas, el exceso debe ser sacado aplicando la cantidad justa e indispensable de arena, para prevenir desprendimientos con el tráfico.
- Antes de comenzar el tratamiento, todo el contenido volátil del asfalto debe haberse evaporado, procediéndose a barrer la arena suelta que haya quedado en la base.

### **Esparcido del asfalto**



*FIGURA N° 2 Esparcido del asfalto (Crespo Villalaz ,1996)*

- Antes de comenzar la operación, debe hacerse una línea a lo largo del camino, que servirá de guía al conductor del camión distribuidor.
- Esta línea puede hacerse unos 2 pies fuera del área a asfaltarse y pueden usarse rocas de un tamaño más o menos uniforme.
- En las calles de la ciudad pueden usarse las cunetas o el encintado de la acera como guías.

- Los operarios del distribuidor deben tener cuidado en igualar el encintado a la cuneta y no hacerlo más corto o superponerla.
- Es conveniente proteger la cuneta o el encintado de los derrames o cubrirlo con una coraza o papel.
- Una vez efectuados todos los ajustes y chequeos necesarios, incluyendo el calentamiento del asfalto hasta que adquiera la viscosidad apropiada para esparcirla, la aplicación en proporción correcta no debiera presentar problemas.
- El conductor del distribuidor, sencillamente se limitará a mantener la velocidad preestablecida, de acuerdo con la lectura del dial del bitumeter.
- El chequeo de la cantidad de asfalto consumido deberá hacerse de cada trayecto.
- Esto es posible de hacer fácil y rápidamente calculando los litros por metro cuadrado que se hayan consumido, mediante la aplicación de la fórmula siguiente:

en donde:

R = Asfalto aplicado en litros, por metro cuadrado.

T = Total de litros esparcidos por el distribuidor, a la temperatura del esparcido.  
(Lectura del contenido de asfalto antes de esparcir menos lectura del contenido, después de esparcido).

W = Ancho del área esparcida en metros.

L = Largo del área esparcida en metros.

M = Múltiplo para corregir el volumen del asfalto en base a 15,5 °C.

### **Distribución del agregado**



*FIGURA N° 3 Distribución del agregado (Crespo Villalaz, 1996)*

- Todo el agregado necesario para el esparcido planeado deberá estar a mano antes de empezar. Cuando se mueva el distribuidor hacia adelante para esparcir el asfalto, el esparcidor de agregado debe empezar inmediatamente detrás. Es esencial que el asfalto sea cubierto dentro de un minuto a lo sumo, ya que el aumento de viscosidad que se produce dentro de ese tiempo puede impedir una buena humedad y juntura del agregado. Es también importante que el agregado se esparza uniformemente y en la proporción apropiada. Es una aplicación simple, normalmente el agregado no se pegará al asfalto en más del grosor de una partícula, así es que resulta inútil aplicarlos en una proporción mayor que el grosor de una capa simple.
- Un control de alto grado se logra con esparcadoras mecánicas, empujadas por tractor o con esparcadoras automáticas. Una proporción uniforme de aplicación se obtendrá con un esparcidor correctamente ajustado, si se mantiene un taquímetro para asegurar una velocidad uniforme.

### Compactado



*FIGURA N° 4 Compactado (Crespo Villalaz, 1996)*

- El Instituto del Asfalto recomienda que en todos los tratamientos de superficies, se use aplanadoras con ruedas neumáticas. Aunque ambos tipos dan buenos resultados, el primero da una presión uniforme a toda el área, mientras que la rueda de acero hará presión sólo en los lugares más altos. Además, la presión de contacto, de la aplanadora de neumáticos, puede ser bajada para prevenir el tratamiento de las partículas suaves. En todo caso deberían usarse aplanadoras automáticas para cada esparcidor de agregado. El aplanamiento debería empezar inmediatamente después de la distribución del material cubridor, con una aplanadora neumática y continuar hasta que el agregado se asiente apropiadamente en el empaste.

- Tan pronto como el agregado tenga un asentamiento, o se haya endurecido, el aplanamiento debe ser interrumpido o la junta entre asfalto y el agregado podría romperse con la aplanadora. El aplanamiento debería empezarse en la línea de afuera del tratamiento, y proceder en dirección longitudinal, avanzando hacia el centro del trabajo. Cada viaje debe sobreponerse al viaje anterior, en más o menos mitad del ancho de las ruedas delanteras o del rodillo.

### **Barrido**

- El agregado distribuido en forma apropiada no requerirá redistribución y las dragas deberían ser eliminadas. Las dragas tienden a trasladar las partículas más pequeñas al fondo e impedir la adhesión de las partículas más grandes. También tienden a desalojar o desglosar el agregado adherido, dando vuelta la parte asfaltada hacia arriba, de modo que las ruedas del tráfico terminan por cogerlo.

### **Remoción del exceso de agregado**

- A pesar de las precauciones, siempre habrán partículas sueltas de agregado en la superficie del camino después de completada la operación de aplanamiento. Antes de que se cubra con asfalto la vereda adyacente, se debe barrer el agregado suelto a lo largo de la junta, y si es necesario, del resto de la vereda no cubierta.

### **Control del Tránsito**

- En el área de trabajo, el control del tránsito es un factor de gran importancia, si se quiere obtener un trabajo de alta calidad. Un tránsito de alta velocidad, sobre un tratamiento fresco desplazará el agregado, produciendo una superficie negra, aceitosa y resbaladiza. El tránsito debe sencillamente ser desviado, en caso de no ser esto posible, permitirlo solamente en la vereda que está en construcción. Cuando el trabajo esté completado y el asfalto inicial se haya asentado, el tránsito debe ser controlado a una velocidad máxima de 35 Km/h hasta que el asentado del asfalto haya sido definitivo.

### **2.3.1. TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE**

Consiste en una sola aplicación uniformemente distribuida de ligante bituminoso, seguido de una aplicación de árido de tamaño tan uniforme como sea posible. Esta se

realiza sobre una superficie acondicionada y con una estructura apropiada a las condiciones de sollicitación a que va a estar expuesta.

### **2.3.2. TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE**

Son dos riegos alternados y uniformemente distribuidos de ligante bituminoso y árido sobre una superficie acondicionada previamente. El tamaño medio del árido de cada distribución sucesiva es la mitad o menos del tamaño medio de la capa precedente. El espesor total es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal del árido de la primera aplicación.

### **2.3.3. TRATAMIENTO SUPERFICIAL MÚLTIPLE**

Se denomina Tratamiento Superficial Múltiple (T.S.M.) cuando el proceso se repite más de una segunda vez, disminuyendo el tamaño del árido con cada nueva aplicación.

## **2.4. MATERIALES PARA TRATAMIENTOS**

### **2.4.1. ÁRIDO**

La mayoría de los agregados duros, tales como arena, grava, piedra chancada y escoria chancada, pueden usarse exitosamente en tratamientos superficiales. Sin embargo, el agregado seleccionado debe cumplir ciertos requisitos de tamaño, forma, limpieza y propiedades superficiales. Cuando se usan asfaltos cortados el agregado debe estar seco. Sin embargo, si se usa un asfalto emulsificado, el agregado, cuando se aplica, puede estar húmedo.

En lo posible, debe ser de un solo tamaño, de forma cúbica o piramidal, tan limpio como sea posible para asegurar una buena adhesión de asfalto.

El tipo de sello o tratamiento superficial más comúnmente usado es el de tamaño nominal TN 10-2,5 mm y para doble tratamiento la combinación TN 20-10 mm y 10 2,5 mm.

## 2.4.2. ASFALTO

El tipo de asfalto o agregado para una aplicación específica depende de la disponibilidad de los materiales, clima u objetivo del tratamiento superficial, variables que deben considerarse en la selección de dichos materiales. Un buen tratamiento superficial requiere que el asfalto tenga las siguientes características:

- Después de aplicado, debe mantener la consistencia adecuada para embeber al agregado.
- Debe curar y desarrollar adhesión rápidamente.
- Después del aplanamiento y curado debe mantener al agregado fuertemente ligado a la superficie del camino para prevenir el desprendimiento por el tránsito.

### VIDA ÚTIL DE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

*Tabla N°1 Vida útil de los tratamientos superficiales*

DESCRIPCION	DISEÑO	TRANSITO(VDM)
Tratamiento superficial simple	T = 3-5 años	< 250
Tratamiento superficial doble	T = 8-12 años	250 a 2000
Tratamiento superficial triple	T = 10-15 años	> 2000

Fuente S.N.C. Tratamientos superficiales

## 2.5. IMPRIMACIÓN REFORZADA

La imprimación reforzada es un tratamiento superficial a penetración directa sobre la calzada de un camino afirmado, la que previamente ha sido desagregada y acondicionada para facilitar un mayor descenso del líquido asfáltico de curado medio que se aplica en dos oportunidades, procediendo entre ambos riegos a la compactación de la capa superficial con o sin humedecimiento previo según lo considere necesario.



*FIGURA N° 5 Camino con imprimación reforzada (programa caminos básicos  
5000. Gobierno de Chile)*

### **2.5.1. OBJETIVOS DE LA IMPRIMACIÓN REFORZADA**

- Impermeabilizar la superficie de la capa base
- Lograr una buena adherencia entre la capa base y la capa de rodadura
- Proteger a la capa base de los factores atmosféricos como la lluvia
- Impermeabilizar a la superficie

### **2.5.2. DISEÑO DE MEZCLAS PARA IMPRIMACIÓN REFORZADA**

El diseño de una mezcla asfáltica en caliente, comprende fundamentalmente:

- a) Establecer los criterios de diseño en función al uso al que se lo destine, tal como base o capa de rodadura y al tráfico al que estará sometida, sea este liviano, mediano o pesado. Sobre la base de ello se deben fijar las características que debe cumplir la mezcla en cuanto a estabilidad, fluencia y porcentaje de vacíos.
- b) Efectuar el dosaje de la mezcla que consiste en la determinación de los porcentajes de los componentes de la mezcla, de manera tal que esta cumpla los requisitos de calidad preestablecidos.

### **2.5.3. CEMENTO ASFÁLTICO PARA PARA LA IMPRIMACIÓN REFORZADA**

La imprimación reforzada se diseñara mezclando en caliente el agregado con el asfalto, puesto que esta mezcla es una de las más importantes en la tecnología vial. Los materiales bituminosos empleados para esta mezcla son del tipo de Cemento asfáltico de penetración:

60 – 70, 85 – 100 ó 120-150 según el clima o el tráfico.

Una vez elegido el tipo de Cemento Asfalto (C.A.) a utilizar, debe ser evaluado en laboratorio mediante los ensayos de calidad especificados y que fueron dados en asfaltos.

Las características de los ligantes asfálticos se deben escoger de acuerdo al clima en el cual se empleará el diseño, de manera que en el cuadro siguiente se tienen este tipo de requisitos.

*Tabla N° 2 Requisitos sobre ligantes asfálticos*

<b>Clima Cálido</b>	A50-60 CA30, CA40 AM2, AM3	Los Asfaltos 50-60, 70-100 y 150/200, s/IRAM 6604(2002) Los Asfaltos CA5, CA10, CA30 y CA40, s/IRAM 6835 (2002) Los Asfaltos modificados AM2, AM3 y AM4, s/IRAM 6596 (200)
<b>Clima Medio</b>	A50-60 CA20, CA30 AM2, AM3	
<b>Clima Templado</b>	A50-60 A70-100 CA10, CA20, CA30 AM2, AM3	
<b>Clima Frío</b>	A70-100 150-200 CA5, CA10 AM3, AM4	

Tomando en cuenta la Tabla N°2 se puede observar que el diseño de imprimación reforzada se realizará para el clima de nuestro medio que es en este caso el clima medio.

#### **2.5.4. TAMAÑO DE LOS AGREGADOS**

El agregado debe ser de tamaño tan uniforme como económicamente sea práctico, de forma tal que la imprimación reforzada 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 completamente las partículas pequeñas y no conseguir el envolvimiento apropiado de las más grandes. Si sucede esto las partículas grandes pueden ser fácilmente barridas por tráfico de alta velocidad.

Generalmente el tamaño máximo del agregado para una imprimación reforzada 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 determina la suavidad de la superficie de rodamiento. “Se ha hallado que el mejor tamaño de los agregados para conseguir esa calidad de suavidad de superficie es el de media pulgada de diámetro (1/2”).

El agregado para sellos con lechada es la excepción al principio de agregado de un solo tamaño y a la limitación de tamaño mínimo. Este debería ser un agregado fino gradado con un tamaño máximo de 0.10 Pulgadas (Tamiz N° 8) y con un contenido de material que pase por el Tamiz N° 200 (0.003 Pulgadas) que puede llegar hasta el 15%.

#### **ENSAYOS A LOS AGREGADOS**

#### **DETERMINACIÓN DEL DESGASTE DE LAS GRAVAS MÉTODO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

El índice de desgaste de un árido está relacionado con su resistencia a la abrasión por medios mecánicos y también con la capacidad resistente de los hormigones con él fabricados; cobra particular importancia en áridos empleados en hormigones de pavimentos.

La norma NCh 1369.0f 78 establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de las gravas de densidad real normal.

En este caso, por corresponder a un equipo especial y a un ensayo que sólo se realiza en laboratorios calificados se resumirán sólo los aspectos más útiles o directamente relacionados con laboratorios de faena.

El método consiste en analizar granulométricamente un árido grueso, preparar una muestra de ensayo que se somete a abrasión en la máquina de Los Angeles y expresar la pérdida de material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial.

## **EQUIPO:**

### **a. Maquina de los angeles :**

Tambor de acero de  $710 \pm 6$  mm de diámetro interior y de  $510 \pm 6$  mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales debe tener un dispositivo de polea o similar, para acoplar el motor. En su manto cilíndrico debe tener una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegura una estanqueidad al polvo.

Debe llevar en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en  $90 \pm 3$  mm. La distancia entre la aleta y la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro y en la dirección de rotación, debe ser igual o mayor que 1.25 m.

Su rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 revoluciones por minuto. Debe estar contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme.

### **b. Balanza:**

Con una capacidad superior a 10 kg. Y una precisión igual o mayor al 0.1%. de la pesada.

**c. Tamices :**

De malla y alambre y abertura cuadrada.N#12

**d. Horno:**

Con circulación de aire y temperatura regulable para las condiciones del ensaye.

**e. Esferas:**

(Carga abrasiva), Un juego de esferas de acero de 45 a 50 mm de diámetro y con una masa de  $440 \pm 50$  gr cada una.

**Procedimiento**

a. Se determina la granulometría original de la muestra mediante tamizado y empleando la siguiente serie de tamices, en mm 80- 63- 50- 40- 25- 20 -12,5 -10-6,3-5-2,5. El material se deja separado en las fracciones correspondientes.

b. Se elige el grado de ensayo más aproximadamente coincidente con la granulometría original de la muestra, lo que significa ensayar la mayor proporción posible del árido original.

Para ello se considera la granulometría, expresada en porcentajes parciales retenidos en los tamices; se calcula la sumatoria de porcentajes parciales retenidos para cada grado del 1 al 7; y se elige el grado correspondiente a la mayor sumatoria. (Ver tabla en Nch 1369).

c. En caso que se trate de prospecciones de yacimientos o rocas y áridos sin selección ni tratamiento, se procesará la muestra a fin de componer la banda granulométrica adecuada al uso propuesto y elegir el grado de ensayo correspondiente a dicha banda granulométrica.

**Ensayo**

a. Se pesan los tamaños de las fracciones correspondientes al grado de ensayo elegido. Se registra la masa total inicial (**mi**).

- b. Se coloca el material en la máquina y se ensaya de acuerdo al grado elegido.
- c. Completado el ciclo se saca el material y se tamiza por las mallas de 2,5 mm y 1,6 mm.
- d. Se reúne el material retenido, se lava y seca a masa constante y se deja enfriar a temperatura ambiente.
- e. Se pesa y registra la masa del material retenido final (**mf**).
- f. Se calcula el desgaste de la grava como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra de acuerdo a la siguiente fórmula, aproximando a 0,1%.

## **DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO**

### **1. OBJETIVO**

Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir, para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables. La fuerza de expansión interna derivada de la rehidratación de la sal después de reinmersión simula la expansión del agua por congelamiento.

Mediante este método se puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climatológicas de la obra. Se llama la atención sobre el hecho que los resultados que se obtienen varían según la sal que se emplee y que hay que tener cuidado al fijar los límites en las especificaciones en que se incluya este ensayo.

### **2. USO Y SIGNIFICADO**

Este método es un procedimiento para hacer un estimativo preliminar de la sanidad de los agregados a ser usados en concretos y otros propósitos. Los valores obtenidos pueden ser comparados con especificaciones que se han diseñado para indicar la posibilidad de usar el agregado propuesto. Dado que la precisión de este método es baja, el rechazo de los agregados que no cumplan las especificaciones pertinentes, no puede

darse sin confirmar con los resultados de otros ensayos mejor relacionados con el uso que se le va a dar al material.

## **EQUIPO**

### **Tamices:**

Se Utilizan tamices con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños, para tamizar muestras de acuerdo con las Secciones 5, 6 y 8: Tamices serie fina Tamices serie gruesa  
4.75 mm (No. 4) 63 mm (2 1/2") 4.00 mm (No. 5) 50 mm (2" ) 2.36 mm (No. 8) 37.5 mm (1 1/2") 1.18 mm (No. 16) 31.5 mm (1 1/4") 600 µm (No. 30) 25 mm (1" ) 300 µm (No. 50) 19 mm (3/4" ) 150 µm (No.100) 16 mm (5/8" ) 12.5 mm (1/2" ) 9.5 mm (3/8" ) 8.0 mm (5/16")

### **Recipientes para muestras:**

Recipientes para sumergir las muestras de los agregados en la solución, de acuerdo con el procedimiento descrito en este método. Los recipientes estarán perforados de tal manera que permitan la libre entrada de la solución, para que se pueda poner en contacto con la muestra y para que pueda drenar de la misma, sin que se produzca pérdida de partículas del agregado. El volumen de la solución en la cual se sumergen las muestras será, por lo menos, cinco veces el volumen de la muestra sumergida.

### **Termómetro:**

Un termómetro con el intervalo de temperatura recomendado para la solución durante la realización del ensayo, con una precisión de 0.1° C (0.2° F).

### **Balanzas:**

Las balanzas deben tener una capacidad suficiente y sensibilidad de 0.1 g, para pesar el agregado fino y para agregado grueso, otra con sensibilidad de 0.1% de la masa de la muestra o un gramo, el que sea mayor dentro del intervalo requerido para este ensayo.

### **Horno:**

Un horno capaz de mantener una temperatura a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{ C}$  ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ} \text{ F}$ ) y la rata de evaporación para esta temperatura debe ser al menos 25 g/h, durante 4 horas, período durante el cual se deberá mantener cerrada la puerta del horno. Esta velocidad se determinará por la pérdida de agua, en vasos de laboratorio (beakers) de 1.0 litro de capacidad, que contengan inicialmente cada uno 500 g de agua a la temperatura de  $21^{\circ} \pm$

2° C ( $70^{\circ} \pm 3^{\circ}$  F), colocados Instituto nacional de Vías E 220 - 3 en cada rincón y en el centro de cada bandeja del horno, durante el citado período de 4 horas. Esta comprobación se efectúa estando ocupado el horno solamente por los vasos con agua.

## **PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS**

Agregado fino – La muestra de agregado fino se lava bien sobre el tamiz de 300  $\mu$ m (No.50); se seca hasta masa constante, a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$  C ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ}$  F) y se separa en las diferentes fracciones por medio de un tamizado realizado de la siguiente manera: Se efectúa primero una separación aproximada, por medio de la serie de los tamices indicados en la Sección

Agregado grueso – La muestra de agregado grueso se lava bien, se seca hasta peso constante, a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$  C ( $230^{\circ} \pm 9^{\circ}$  F) y se separa en las diferentes fracciones indicadas en la Sección 5.2, por tamizado hasta que no pase más material. La cantidad requerida de cada una de estas fracciones, se pesa y se coloca, por separado. En el caso de las fracciones con tamaño superior a 19 mm (3/4"), se cuenta también el número de partículas.

### **2.6. EL RIPIADO**

Se denomina ripiado al proceso de relleno de cascajo o grava utilizado para pavimentar carreteras y caminos, para hacerlos más transitables. Al ser más permeable, este tipo de caminos dan una mayor transitabilidad que los de tierra, pero al igual que estos, últimos los caminos de ripio requieren mucho más mantenimiento que los asfaltados.

En los caminos de ripio los vehículos tienen menor estabilidad que en los caminos de asfalto debido a que se producen varias fallas superficiales en el mismo, estos en muy poco tiempo se van desintegrando con el andar de los vehículos, su vida útil solo alcanza máximo hasta un año.

La ejecución del ripiado es generar una capa de rodadura granular constituida de capas de suelo natural, mezclas de suelos naturales con gravas naturales o con agregados triturados o productos totales de materiales triturados.

### 2.6.1. MATERIALES

Los materiales a ser empleados en la capa de rodadura deben presentar un índice de soporte de California (CBR) igual o mayor a 30% y una expansión máxima de 2 %, siendo estos índices determinados por el ensayo AASHTO T-193 con la energía de compactación del ensayo AASHTOT-180-D y para la densidad seca correspondiente al 100 % de la máxima determinada en este ensayo.

La capa de rodadura será efectuada con materiales que cumplan con una de las siguientes granulometrías:

### GRADACIONES PARA MATERIALES DE CAPA DE RODADURA

Porcentajes por peso del material que pasa por tamices con malla cuadrada según AASHTO T-11 y T-27.

TAMIZ	TIPO DE GRADACIÓN		
	A	B	C
3"	100		
2"	-	100	
1 1/2"	-	-	100
1"	-	-	-
3/4"	-	-	-
3/8"	-	-	-
No. 4	15-45	20-50	25-55
No. 10	-	-	-
No. 40	-	-	-
No. 200	0-10	0-10	0-10

### 2.6.2. EQUIPO

Se requieren los siguientes tipos de equipo, en excelentes condiciones de operación, para la ejecución de la capa de rodadura:

- a) Planta seleccionadora o dosificadora, según el caso si es necesario.
- b) Equipo de extracción y transporte.
- c) Motoniveladora pesada con escarificador.
- d) Camión tanque distribuidor de agua.
- e) Rodillos compactadores lisos vibratorios, neumáticos y rodillos de grillas.
- f) Arado de disco.

### 2.6.3 EJECUCIÓN

Comprende las operaciones de producción, distribución, mezcla y pulverización, humedecimiento o desecación, compactación y acabado de los materiales transportados del yacimiento, realizadas sobre la capa de rodadura debidamente regularizada y aprobada en el ancho establecido, en cantidades que permitan llegar al espesor diseñado de 10 cm luego de su compactación. En el caso de utilización de plantas trituradoras y dosificadoras se deberá agregar en estas instalaciones el agua necesaria para obtener la humedad de compactación.

Las densidades de la capa acabada deberán ser como mínimo de 100% de la densidad máxima determinada según el ensayo AASHTO T-180-D, el contenido de humedad deberá variar como máximo entre  $\pm 2\%$  de la humedad óptima obtenida en el ensayo anterior.



*FIGURA N° 6 Esparcido del material para el ripiado*

El material será esparcido sobre la capa inferior aprobada de modo que se evite la segregación y en cantidad tal que permita obtener el espesor programado después de su compactación.



*FIGURA N° 7 Compactado del material para el ripiado*

El material transportado hasta la plataforma deberá ser inmediatamente esparcido para evitar la concentración del tráfico sobre fajas limitadas de la capa inferior.

Se prevé la utilización de gravas naturales que cumplan con las especificaciones. Cuando por motivos de orden técnico o económico, para mejor aprovechamiento de los yacimientos y de instalaciones, se podrá triturar todo o parte de los materiales granulares.

## CAPÍTULO III

### ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE CAPA DE RODADURA

#### 3.1. UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada en la Capital del Departamento de Tarija-Bolivia, Provincia Cercado, la misma desarrollada a orillas del Guadalquivir, "Río Grande", se encuentra emplazada en la parte central del Departamento, la que mediante la red fundamental conecta al Departamento con el sector norte del país, mientras que por el sur mediante la carretera recientemente asfaltada a la población de Bermejo, permite al país establecer la conexión con la República Argentina, en tanto que por el este, permite la conexión con dos ciudades importantes del Departamento como Yacuiba y Villamontes.



*FIGURA N° 8 Ubicación geográfica del departamento de Tarija en el Estado Plurinacional de Bolivia*



FIGURA N° 9 Ubicación de la provincia Cercado en el Dpto. de Tarija



FIGURA N° 10 Ubicación del área de estudio de la provincia Cercado en el Dpto. de Tarija

### 3.2. EXTRACCIÓN DE MUESTRA DE LA SUBRASANTE DE LA CALZADA

Las muestras de suelos a utilizarse para el estudio de la subrasante se las obtuvo de la calzada a diferentes progresivas, ubicada en la comunidad de Obrajes.

Tabla N° 3 Progresivas de la extracción de las muestras

TRAMO N°	DESCRIPCIÓN	PROG. (KM)	PROG. (KM)	PROG. (KM)	PROG. (KM)	LONGITUD (KM)
1	Comunidad de Obrajes	0+000	0+800	1+600	2+400	2.4

Fuente: Elaboración propia

La primera muestra para el trabajo de investigación se la obtuvo del principio de la calzada de la comunidad de Obrajes, progresiva (0+000)



*FIGURA N° 11 Camino de tierra de la comunidad de Obrajes*



*FIGURA N° 12 Toma de muestra para ensayos de laboratorio*

La segunda muestra para el trabajo de investigación se la obtuvo a partir de la progresiva (0+800) de la calzada de la comunidad de Obrajes.



*FIGURA N° 13 Camino de tierra de la comunidad de Obrajes*



*FIGURA N° 14 Toma de muestra para ensayos de laboratorio*

La tercera muestra para el trabajo de investigación se la obtuvo a partir de la progresiva (1+600) de la calzada de la comunidad de Obrajes.



*FIGURA N° 15 Camino de tierra de la comunidad de Obrajes*



*FIGURA N° 16 Toma de muestra para ensayos de laboratorio*

La cuarta muestra para el trabajo de investigación se la obtuvo del final del tramo de la calzada de la comunidad de Obrajes, progresiva (2+400)



*FIGURA N° 17 Camino de tierra de la comunidad de Obrajes*



*FIGURA N° 18 Toma de muestra para ensayos de laboratorio*

### 3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

Para caracterizar la subrasante es necesario realizar diferentes ensayos de laboratorio, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

*Tabla N° 4 Ensayos a realizar para la caracterización de la subrasante*

<i>Propiedad analizada</i>	<i>Tipo de ensayo o prueba</i>	<i>Norma o especificación</i>
Granulometría	Método del Cribado	ASTM D1140-56
Plasticidad	Ensayo de Límite Líquido	ASTM D423-66
	Ensayo de Límite Plástico e IP	ASTM D424-59
Clasificación	—	Según el sistema AASHTO y Sistema Unificado
Compactación	Ensayo de Compactación T-180	ASTM D1557-70
Capacidad Portante	Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)	ASTM D1883-73

- GRANULOMETRÍA

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforma un suelo. Esto se realiza con ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas A.S.T.M. y A.A.S.H.T.O. en donde se obtienen los pesos retenidos para luego realizar posteriores cálculos y la curva granulométrica. El factor fundamental de estos ensayos será el de obtener la curva granulométrica de cada una de las muestras en estudio dibujadas en escala logarítmica.



*FIGURA N° 19 Granulometría de la subrasante*



*FIGURA N° 20 Tamizado de la subrasante*

Las muestras en estudio presentan los siguientes datos de granulometría:

Tabla N° 5 Resultados de la granulometría de las muestras

<i>Tamiz</i>	<i>Porcentaje que pasa</i>			
<i>ASTM</i>	<i>Suelo 1</i>	<i>Suelo 2</i>	<i>Suelo 3</i>	<i>Suelo 4</i>
3"	100,00	100,00	100,00	100,00
2"	100,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	99,24	98,86	99,31	99,06
1/2"	97,83	98,06	97,96	97,56
3/8"	97,16	96,95	97,17	96,68
N° 4	94,91	93,48	94,76	94,11
N° 10	91,63	90,46	92,11	89,47
N° 40	87,51	85,34	87,68	84,92
N° 200	66,64	63,36	64,43	60,85

Fuente: Elaboración propia

Las planillas y fotografías del ensayo se encuentran en anexos

- **LÍMITES DE ATTERBERG**

Los límites de consistencia de un suelo están representados por contenidos de humedad. Los principales se conocen con los nombres de: límite líquido, límite plástico y límite de retracción.

***Límite Líquido***

“Límite líquido es el contenido de humedad que corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia líquido y plástico de un suelo.”

El límite líquido se define por la humedad cuando con 25 golpes ligeros contra una placa de goma dura de una vasija especial, se cierra el surco de sección trapecial que se había abierto en la masa húmeda de suelo colocada en dicha vasija.

El límite líquido de un suelo da una idea de su resistencia al corte cuando tiene un determinado contenido de humedad. Un suelo cuyo contenido de humedad sea aproximadamente igual o mayor a su límite líquido tendrá una resistencia al corte prácticamente nulo.

Los materiales granulares (arena, limo) tienen límites líquidos bajos (25% a 35% aproximadamente) y las arcillas, límites líquidos altos (mayores del 40%).

### ***Límite Plástico***

Por plasticidad se entiende la propiedad que tiene el suelo de deformarse sin romperse.

El límite plástico (Lp) es el contenido de humedad que tiene un suelo en el momento de pasar del estado plástico al semi-sólido.

Se ha convenido en que esta humedad sea la que permita amasar un suelo, a mano, en cilindros de 3 milímetros de diámetro, aproximadamente, sin que presente signo de ruptura.

El límite plástico se define por la humedad del suelo amasado cuando empieza a separarse y desmoronarse al enrollarse a mano para formar bastoncillos de 3 mm de diámetro.

El límite plástico (Lp) está definido como el contenido de humedad que tiene un suelo, cuando empieza a resquebrajarse al amasarlo en cilindros de 3 mm de diámetro aproximadamente.

Las arenas no tienen plasticidad. Los limos la tienen, pero muy poca; en cambio, las arcillas y sobre todo aquellas ricas en materia coloidal son muy plásticas.

Se ha generalizado mucho el uso del Índice de plasticidad (Ip), que no es sino el valor numérico de la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, o sea:

$$I_p = L_l - L_p$$

Un índice de plasticidad elevado, indica mayor plasticidad. Cuando un material no tiene plasticidad (arena por ejemplo), se considera el índice de plasticidad como cero y se indica:  $I_p = NP$  (no plástico).



*FIGURA N° 21 Ensayo de límite líquido*



*FIGURA N° 22 Ensayo de límite plástico*

*Tabla N° 6 Resultados del ensayo de Límites de Atterberg*

<i>Característica</i>	<i>Límite Líquido</i>	<i>Límite Plástico</i>	<i>Índice de plasticidad</i>
Suelo 1	0	0	NP
Suelo 2	0	0	NP
Suelo 3	0	0	NP
Suelo 4	0	0	NP

Fuente: Elaboración propia

- **CLASIFICACIÓN**

Los sistemas de clasificación de suelos dividen a estos en grupos y subgrupos en base a propiedades ingenieriles comunes tales como la distribución granulométrica, el límite líquido y el límite plástico. Los dos sistemas principales de clasificación actualmente en uso son: el sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el Unified Soil Classification System (también ASTM).

El sistema de clasificación AASHTO se usa principalmente para clasificación de las capas de carreteras. La clasificación de todas las muestras se las realizó en base a los resultados de los ensayos de Granulometría y Límites de Atterberg.

A continuación se presenta la clasificación de cada muestra de acuerdo a los dos sistemas de clasificación mencionados en párrafos anteriores y en base a los datos de granulometría obtenidos en el laboratorio:

*Tabla N° 7 Clasificación y descripción de las muestras en estudio*

<i>Clasificación</i>				
<i>Muestra</i>	<i>Suelo 1</i>	<i>Suelo 2</i>	<i>Suelo 3</i>	<i>Suelo 4</i>
<i>AASHTO</i>	A-4(0)	A-4(0)	A-4(0)	A-4(0)
<i>SUCS</i>	ML	ML	ML	ML

Fuente: Elaboración propia

<i>Descripción</i>
Limo arenoso con grava nada plástico (Suelo 1)
Limo arenoso con grava nada plástico (Suelo 2)
Limo arenoso con grava nada plástico (Suelo 3)
Limo arenoso con grava nada plástico (Suelo 4)

Fuente: Elaboración propia

- **COMPACTACIÓN (T-180)**

Los suelos están formados por partículas de tamaño y forma variada y, entre éstas, existen espacios intergranulares llamados vacíos, que se hallan llenos de aire, agua o ambos a la vez. Cuando una masa de suelo se encuentra en estado suelto ocupa mayor volumen, porque tiene mayor número de vacíos. En cambio cuando comprimimos esta masa de tierra, se hace más compacta y observamos un decrecimiento de su volumen total, a causa de la disminución de volumen de vacíos. Esta operación de comprimir una masa de tierra se llama compactación. Es decir que al compactar una masa de suelo se obtienen las siguientes ventajas:

- Disminución de asentamientos futuros.
- Incremento de la resistencia al corte.
- Disminución de la permeabilidad.

A fin de que el material alcance al compactársele la mayor densidad posible, éste debe tener una humedad adecuada en el momento de la compactación. Esta humedad se llama “humedad óptima” y la densidad obtenida se conoce con el nombre de “densidad máxima”.

Estos dos parámetros son obtenidos a través de la curva de compactación, la cual se obtiene mediante un ensayo de laboratorio, conocido como Próctor Modificado o T-180, esta curva se la puede formar relacionando las densidades obtenidas con variados contenidos de humedad.



*FIGURA N° 23 Compactación de molde*



*FIGURA N° 24 Molde una vez terminado el proceso de compactación*

A continuación podemos observar los resultados de los ensayos de compactación realizados en el laboratorio de la carrera para ambas muestras de suelo:

Tabla N° 8 Resultados de ensayo de Compactación

<i>Muestra</i>	<i>Suelo 1</i>	<i>Suelo 2</i>	<i>Suelo 3</i>	<i>Suelo 4</i>
<i>Densidad Máxima (gr/cm<sup>3</sup>)</i>	1.97	1.98	2.01	1.99
<i>Humedad Óptima (%)</i>	12.11	12.37	11.87	12.28

Fuente: Elaboración propia

- CAPACIDAD DE SOPORTE (CBR)

El ensayo CBR (la ASTM denomina el ensayo simplemente un ensayo de relación de soporte) mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, pero de la aseveración anterior es evidente que este número no es constante para un suelo dado sino que se aplica sólo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo. De paso, es interesante comentar que el experimento puede hacerse en el terreno o en un suelo compactado.

El número CBR (o simplemente, CBR) se obtiene como la relación de la carga unitaria (en libras por pulgada cuadrada) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturado. En forma de ecuación esto es:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patrón}} * 100$$

De esta ecuación se puede ver que el número CBR es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica, el símbolo de porcentaje se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero, como 3, 45, 98.

Para determinar el CBR se toma como material de comparación la piedra triturada. Las resistencias a la penetración que presenta ésta son las siguientes:

<i>Para 0.1" pulgadas de penetración.....</i>	<i>1000 lb./pulg<sup>2</sup> ó 70 Kg./cm<sup>2</sup>.</i>
<i>Para 0.2" pulgadas de penetración.....</i>	<i>1500 lb./pulg<sup>2</sup> ó 105 Kg./cm<sup>2</sup>.</i>
<i>Para 0.3" pulgadas de penetración.....</i>	<i>1900 lb./pulg<sup>2</sup> ó 133 Kg./cm<sup>2</sup>.</i>
<i>Para 0.4" pulgadas de penetración.....</i>	<i>2300 lb./pulg<sup>2</sup> ó 161 Kg./cm<sup>2</sup>.</i>
<i>Para 0.5" pulgadas de penetración.....</i>	<i>2600 lb./pulg<sup>2</sup> ó 182 Kg./cm<sup>2</sup>.</i>

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico determinado, utilizando el ensayo de compactación estándar (o modificada).

A menudo se compactan dos moldes de suelo, uno para penetración inmediata y otro para penetración después de dejado saturar por un período de 96 horas. El segundo espécimen es saturado durante 96 horas con una sobrecarga aproximadamente igual al peso del pavimento que se utilizará en el campo, pero en ningún caso el peso de la sobrecarga será menor de 4.5 Kg. Es necesario durante este período tomar registros de expansión para instantes escogidos arbitrariamente y al final del período de saturación se hace la penetración para obtener el valor de CBR para el suelo en condición de saturación completa.

En ambos ensayos de penetración para determinar los valores de CBR se coloca una sobrecarga sobre la muestra de la misma magnitud de la que se utilizó durante el ensayo de expansión. El ensayo sobre la muestra saturada cumple dos propósitos:

1. Dar información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura.
2. Dar indicación de la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo.

El ensayo de penetración se lleva a cabo en una máquina de compresión utilizando una tasa de deformación unitaria de 1.27 mm./min. Se toman lecturas de carga contra penetración a cada 0.5 mm. de penetración hasta llegar a un valor de 5.0 mm. a partir

del cual se toman lecturas con incrementos de 2.5 mm, hasta obtener una penetración total de 12.7 mm.

El valor de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos, principalmente con fines de utilización con base y subrasante bajo pavimentos de carreteras y aeropuertos. La tabla siguiente da calificaciones típicas.

*Tabla N° 9 Calificaciones típicas para el uso de suelos en el diseño de caminos*

No CBR	Clasificación	Usos	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A1, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, sub-base	CM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2 4, A3, A2 6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2 1, A3

Fuente: Manual de laboratorio de la U.A.J.M.S.

Una vez preparadas las tres probetas de 12, 25 y 56 golpes con su contenido de humedad óptimo y densidad máxima se procedió a la rotura de las mismas en la prensa hidráulica con la que cuenta el laboratorio.



*FIGURA N° 25 Moldes una vez compactado*

A partir de todos los datos obtenidos durante la rotura de las probetas en el laboratorio se obtienen como resultado las curvas que relacionan la Carga-Penetración y CBR- Peso Unitario, dichas curvas pueden observarse en las planillas de laboratorio que se encuentran en los anexos.



*FIGURA N° 26 Lectura de los moldes mediante el extensómetro*



*FIGURA N° 27 Rotura de probetas*

Los valores de CBR obtenidos para esta muestra de suelo 1 son los siguientes:

*Tabla N° 10 Valores de CBR para las distintas muestras de suelo*

<b>Valor de C.B.R.</b>	
Suelo 1	15
Suelo 2	14
Suelo 3	13
Suelo 4	14

Fuente: Elaboración propia

## INFORME TECNOLÓGICO

*Tabla N° 11 Resultados de los ensayos*

<b>PROGRESIVA</b>	<b>0+000</b>	<b>0+800</b>	<b>1+600</b>	<b>2+400</b>
LÍMITE LÍQUIDO	0	0	0	0
LÍMITE PLÁSTICO	0	0	0	0
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	0	0	0	0
CLASIFICACIÓN	A-4(0)	A-4(0)	A-4(0)	A-4(0)
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	12.11	12.37	11.87	12.28
DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm) <sup>3</sup>	1.97	1.98	2.01	1.99
CBR(%)	15	14	13	14

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. UBICACIÓN DEL BANCO DE PRÉSTAMO

El banco de préstamo de material se encuentra ubicado en la comunidad de obrajes en la Capital del Departamento de Tarija-Bolivia, Provincia Cercado, la misma desarrollada a orillas del Guadalquivir.



*FIGURA N° 28 Ubicación de banco de préstamo*

### **3.4.1. EXTRACCIÓN DEL MATERIAL DE BANCO**

El material para realizar los ensayos de tratamiento superficial e imprimación reforzada son extraídos del río de Obrajes, ubicado en la comunidad de Obrajes, Provincia Cercado Tarija-Bolivia



*FIGURA N° 29 Extracción del material de banco*



*FIGURA N° 30 Extracción del material de banco*

### **3.4.2. CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL DE BANCO**

Para caracterizar el material de banco y determinar sus propiedades físico-mecánicas de la muestra extraída es necesario realizar diferentes ensayos de laboratorio, los cuales se presentan en la siguiente tabla:

*Tabla N° 12 Ensayos a realizar para la clasificar la muestra de banco*

<i><b>Propiedad analizada</b></i>	<i><b>Tipo de ensayo o prueba</b></i>	<i><b>Norma o especificación</b></i>
Granulometría	Método del Cribado	ASTM D1140-56
Clasificación	—	Según el sistema AASHTO y Sistema Unificado

- GRANULOMETRÍA

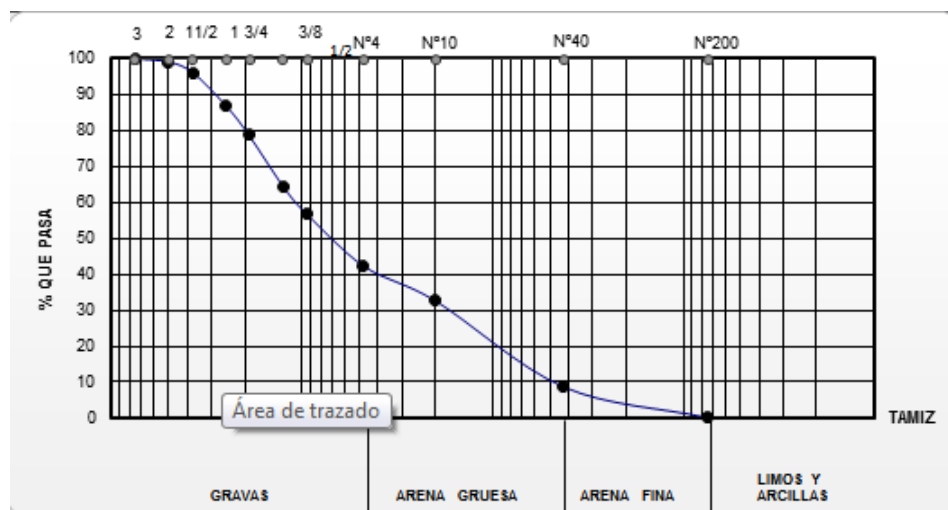
Las muestras del banco de préstamo presentan los siguientes datos de granulometría:

Tabla N° 13 Resultados de la granulometría del material de banco

Tamiz	Porcentaje que pasa
ASTM	Suelo
3"	100,00
2"	99,03
1 1/2"	96,11
1"	86,78
3/4"	78,69
1/2"	64,22
3/8"	56,86
N° 4	42,24
N° 10	32,60
N° 40	8,66
N° 200	0,11

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica que presenta el material de banco



Las planillas y fotografías del ensayo se encuentran en anexos

A continuación se presenta la clasificación del material de banco de acuerdo a los dos sistemas de clasificación mencionados en párrafos anteriores y en base a los datos de granulometría obtenida en el laboratorio:

*Tabla N° 14 Clasificación y descripción del material de banco*

<b>CLASIFICACION</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Suelo 1</b>
<b>AASHTO</b>	A-1-a(0)
<b>SUCS</b>	GW


Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE BANCO PARA CAPA BASE

El material utilizado de banco para la capa base es a partir de los siguientes tamices mostrados en la tabla 15

*Tabla N° 15 Granulometría para la capa base*

Tamiz	Porcentaje que pasa
ASTM	Suelo
3"	100,00
2"	99,03
1 1/2"	96,11
1"	86,78
3/4"	78,69
1/2"	64,22
3/8"	56,86
N° 4	42,24
N° 10	32,60
N° 40	8,66
N° 200	0,11



Para caracterizar el material de banco para la capa base es necesario realizar el siguiente ensayo de laboratorio, el cual se presenta en la siguiente tabla:

Tabla N° 16 Ensayo a realizar para la caracterización de material de banco

<i>Propiedad analizada</i>	<i>Tipo de ensayo o prueba</i>	<i>Norma o especificación</i>
Capacidad Portante	Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)	Ensayo de CBR (California Bearing Ratio)

El CBR determinado del material de banco se encuentra en la siguiente tabla

Tabla N° 17 Valor de CBR del material de banco

<b>SUELO</b>	<b>Valor de C.B.R. AL 100%</b>
A-1-a(0)	96

#### 3.4.4. DIMENSIÓN DE LA CAPA BASE

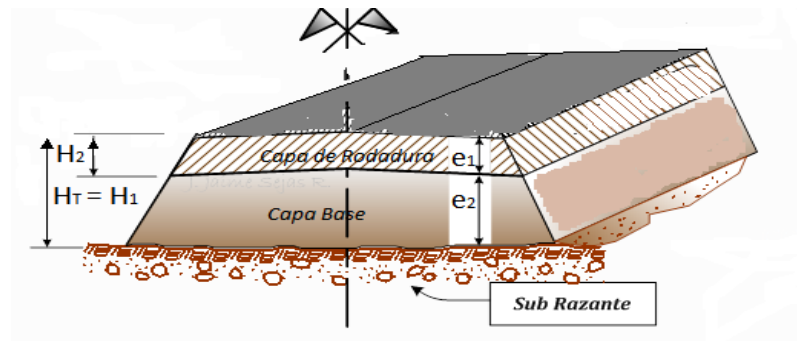
Datos

CBR sub rasante = 12%

CBR base = 96%

Carga por eje = 18000lb

Carga por rueda =  $18000/2 = 9000$ Lbs



FIGURA

N° 31

Espesores de capa

## ABACO DE CBR

En caso de que se fuera a hacer uso del C.B.R. para proyectar los espesores del pavimento se puede emplear la siguiente grafica

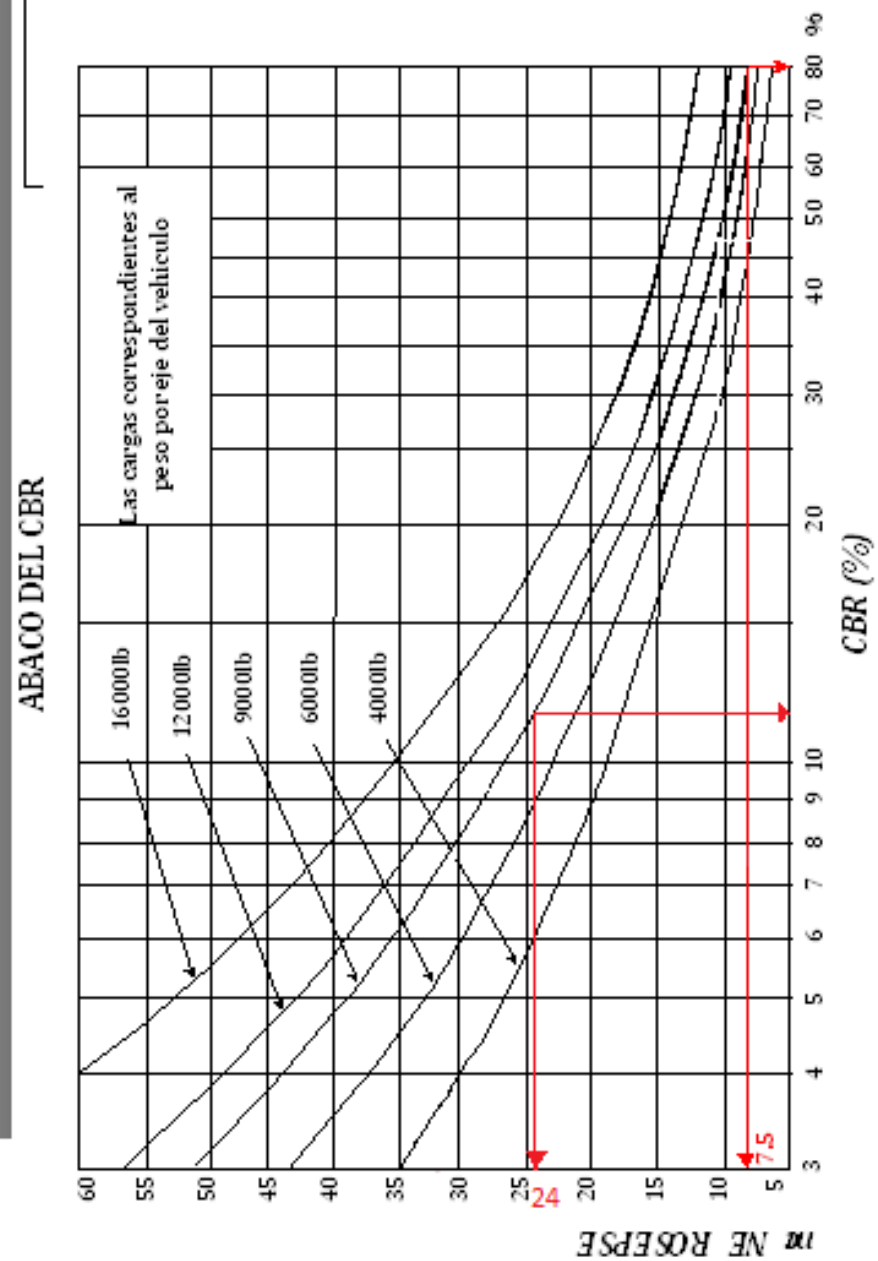


FIGURA N° 32 Abaco de CBR

Del siguiente ábaco (FIGURA N° 32) obtenemos los espesores mediante los CBR.

CBR( Sub-rasante) = 12%    HT = 24cm

$$\text{CBR}(\text{Sub-Base}) = 12\% \quad H1 = 24\text{cm}$$

$$\text{CBR}(\text{Base}) = 96\% \quad H2 = 7.5\text{cm}$$

$$\text{Espesor sub-base} = HT - H1 = 0 - 0 = 0 = \text{espesor de la subbase}$$

$$\text{Espesor Base} = H1 - H2 = 24 - 7.5 = 16.5\text{cm} = \text{espesor de la base}$$

$$\text{Espesor Capa de Rodadura} = H2 = 7,5\text{cm} = \text{espesor de capa de rodadura}$$

### 3.4.5. PROCESAMIENTO DEL MATERIAL DE BANCO PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL, IMPRIMACIÓN REFORZADA Y EL RIPIADO

El material de banco para realizar el siguiente estudio proviene de afluentes del río de la comunidad de Obrajes, el mismo será utilizado para realizar los ensayos de tratamiento superficial e imprimación reforzada y ripiado, se muestran en las tablas siguientes.

*Tabla N° 18 Granulometría para tratamiento superficial e imprimación reforzada*

Tamiz	Porcentaje que pasa
ASTM	Suelo
3"	100,00
2"	99,03
1 1/2"	96,11
1"	86,78
3/4"	78,69
1/2"	64,22
3/8"	56,86
N° 4	42,24
N° 10	32,60
N° 40	8,66
N° 200	0,11

TAMICES PARA  
TRATAMIENTOS SUPERFICIALES E  
IMPRIMACIÓN REFORZADA

*Tabla N° 19 Granulometría para el ripiado*

Tamiz	Porcentaje que pasa
ASTM	Suelo
3"	100,00
2"	99,03
1 1/2"	96,11
1"	86,78
3/4"	78,69
1/2"	64,22
3/8"	56,86
N° 4	42,24
N° 10	32,60
N° 40	8,66
N° 200	0,11

TAMICES PARA  
EL RIPIADO

### 3.5. CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO

#### 3.5.1. VISCOSIDAD

Para la realización de esta práctica se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Colocar el cemento asfáltico (estado sólido) en un envase metálico, para poder calentarlo hasta llevarlo a un estado plasmático, de la misma manera calentar el aceite en un vaso precipitado.



*FIGURA N° 33 Viscosímetro capilar en baño María*

- ✓ Con un termómetro medir la temperatura hasta que ambas alcancen los 135°C.
- ✓ Verificar que el viscosímetro se encuentre limpio y seco antes de utilizarlo.
- ✓ Introducir el viscosímetro al vaso precipitado teniendo cuidado que el aceite no se derrame.



*FIGURA N° 34 Viscosímetro a temperatura arriba de los 100°C*

- ✓ Si existe demasiado aceite, con la ayuda de una pipeta disminuir la cantidad para que no se derrame.
- ✓ Vaciar el asfalto líquido al viscosímetro por el orificio mayor hasta que este llegue a la primera marca.



*FIGURA N° 35 Líquido asfáltico dentro del viscosímetro*

- ✓ Verificar que la temperatura del aceite se mantenga constante para que así el alquitrán, por la acción de la gravedad, pueda fluir.
- ✓ Medir con un cronómetro el tiempo, en segundos, que tarda el cemento asfáltico en fluir entre dos de las marcas.
- ✓ Se procede a limpiar el equipo con el cuidado necesario teniendo en cuenta que se está trabajando con materiales que presentan altas temperaturas, para lo cual es recomendable limpiarlo con kerosen y no así con gasolina, por ser un producto muy inflamable.



*FIGURA N° 36 Limpieza del viscosímetro*

## **DATOS**

$$t = 99,63 \text{ seg}$$

$$T = 135 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$C = 2,991 \text{ mm}^2/\text{s}^2 = 2,991 \text{ cSt/s}$$

Donde:

T = temperatura del asfalto

t = tiempo de flujo

C = Constante de calibración del viscosímetro (cSt/s)

### **Viscosidad cinemática**

$$\gamma = C * t$$

$$\gamma = 2,991 \text{ cSt/seg} * 98,32 \text{ seg}$$

$$\gamma = 297,993 \text{ cSt}$$

El valor obtenido de viscosidad  $\gamma = 294,075$  se encuentra dentro del rango establecido por la norma (ASTM D 2170 AASHTO T201-01):

Cemento asfáltico a 135°C, el rango de viscosidad está entre 30 a 6.000 cSt

### 3.5.2. PENETRACIÓN

Para la realización de esta práctica se siguen los siguientes pasos

- ✓ Colocar el cemento asfáltico (estado sólido) en un envase metálico, para poder calentarlo hasta llevarlo a un estado líquido.
- ✓ Con un termómetro medir la temperatura hasta que alcance una temperatura entre 60 y 90°C.
- ✓ Vaciar el asfalto líquido a las taras con dimensiones establecidas.
- ✓ Dejar reposar las taras con la muestra entre 1 y 1 1/2 horas hasta que éstas adquieran una temperatura de 25°C (ambiente).



*FIGURA N° 37 Tara en reposo con asfalto*

- ✓ Proteger la cápsula contra el polvo cubriéndola.
- ✓ Preparar el equipo (colocar la aguja en casquete, también colocar la pesa de 150 gr en la parte superior del vástago para que ambos pesen 200gr).
- ✓ Verificar que la aguja este limpia.
- ✓ Posicione la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga

contacto con la superficie de la muestra.



*FIGURA N° 38 Penetración de la aguja*

- ✓ Presionar en un tiempo de 5 segundos haciendo que la aguja penetre debido a la acción de la carga de 200 gr.
- ✓ Hacer un mínimo de diez penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados de al menos 10 mm de la pared de la cápsula y a no menos de 10 mm entre uno y otro.
- ✓ Registrar los datos obtenidos.
- ✓ Se procede a limpiar el equipo con el cuidado correspondiente.



*FIGURA N° 39 Dato registrado de la penetración*

## DATOS

*Tabla N° 20 Altura de penetraciones*

ALTURA DE PENETRACIÓN (mm)		
TARA 1	TARA 2	TARA 3
9,1	9	9,4
9,5	9,5	9,4
9	9,3	9,4
9,5	9,5	9,5
9,4	9,4	9,7

Tiempo = 5 seg.

Temperatura = 25°C

Peso = 200 gr

Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Tara N° 1

Penetración =  $9.3 \text{ mm}$

Tara N° 2

Penetración =  $9.34 \text{ mm}$

Tara N° 3

Penetración =  $9.48 \text{ mm}$

Penetración promedio =  $9.37 \text{ mm}$

El índice de penetración promedio es  $9.37 \text{ mm} = 93.7$  y está dentro de las especificaciones (85-100).

### **3.5.3. PUNTO DE IGNICIÓN**

Para la realización de esta práctica se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Colocar la muestra de cemento asfáltico en la copa, dejar calentar hasta que dicha muestra alcance su estado líquido.
- ✓ Verificar que la parte superior del menisco esté en la línea determinada de llenado.



*FIGURA N° 40 Cemento asfáltico en la copa*

- ✓ Aplicar calor inicialmente de modo que la temperatura de la muestra suba a una velocidad de entre 14 y 17°C por minuto.
- ✓ Disminuir el calor cuando la muestra se aproxime a los 55°C por debajo del punto de inflación esperado, hasta que la velocidad de la temperatura para 28°C antes del punto de inflamación sea de 5 a 6°C por minuto.



*FIGURA N° 41 Calentamiento de cemento asfáltico en la copa*

- ✓ Pasar la llama de prueba a través del centro de la copa, en ángulo recto al diámetro que pasa a través del termómetro. El centro de llama de prueba debe moverse en un plano que diste menos de 2 mm por encima del plano del borde superior de la copa, pasando en una dirección primero y en el próximo intervalo en la dirección opuesta.
- ✓ El tiempo consumido en pasar la llama a través de la copa será cercano a 1 segundo.
- ✓ Previo antes del punto de inflamación aumentar la temperatura evitando alteraciones del vapor en la copa de ensayo.



*FIGURA N° 42 Punto de ignición del asfalto*

- ✓ Registrar el valor de la temperatura cuando la muestra alcance su punto de inflamación.
- ✓ Desmontar el equipo y proceder a su respectiva limpieza.

El valor obtenido es el siguiente

PUNTO DE IGNICIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO = Temperatura = 293°C

### 3.5.4. PUNTO DE ABLANDAMIENTO

Para la realización de esta práctica se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Seleccione uno de los líquidos del baño siguientes y termómetros apropiados para el punto de ablandamiento esperado.
- ✓ El agua destilada fresca hierva para puntos de ablandamiento entre 30 y 80°C (86 y 176°F); use Termómetro 15°C (15°F) o Termómetro 113°C (113°F). La temperatura de inicio del baño será  $5 \pm 1^\circ\text{C}$  ( $41 \pm 2^\circ\text{F}$ ).



*FIGURA N° 43 Agua destilada a 5°C antes del ensayo*

- ✓ Arme el aparato en una habitación cerrada del laboratorio con el anillo de espécimen, guías de la esfera centrada y termómetro en posición, llena el baño para que la profundidad del líquido sea  $105 \pm 3$  mm ( $4 \frac{1}{8} \pm \frac{1}{8}$  in.) con el aparato en posición. Usando pinzas, pone las dos esferas de acero en el fondo del baño para que ellas alcancen la misma temperatura de inicio como el resto del ensamblaje.
- ✓ Ponga el baño en el agua de hielo, si es necesario, o suavemente caliente para establecer y mantener la temperatura de inicio del baño apropiada durante 15

minutos con el aparato en posición. Tenga cuidado de no contaminar el líquido del baño.

- ✓ Usando pinzas de nuevo, ponga una esfera del fondo del baño en cada guía de centrando de la esfera.
- ✓ Caliente el baño por debajo para que la temperatura indicada por el termómetro aumente en una proporción uniforme de  $5^{\circ}\text{C}$  ( $9^{\circ}\text{F}$ )/min. No promedie la proporción de temperatura aumentada encima del periodo del ensayo. El máximo la variación permisible para cualquier periodo de 1 minuto después de los primeros 3 minutos será  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1.0^{\circ}\text{F}$ ).
- ✓ Grabe para cada anillo y esfera la temperatura indicada por el termómetro en el momento en el que el betún que rodea la esfera toca el fondo del plato. No haga ninguna corrección por el tallo emergente del termómetro. Si la diferencia entre las dos temperaturas excede  $1^{\circ}\text{C}$  ( $2^{\circ}\text{F}$ ), repita el ensayo.



*FIGURA N° 44 Temperatura en el momento que el asfalto toca el fondo*

El valor obtenido es el siguiente:

La temperatura en que el asfalto toca el fondo de la superficie es  $43^{\circ}\text{C}$

### 3.5.5. PESO ESPECÍFICO

Para la realización de esta práctica se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Calibrar la probeta de 25 ml con la ayuda de una balanza de 0,01 gr de aproximación, determinando el peso de la misma; esta deberá estar limpia y seca.



*FIGURA N° 45*

*ml para el peso específico*

*Probeta de 25*

- ✓ Registrar el peso y designar este dato con la letra “A”.
- ✓ Llenar la probeta con agua destilada para posteriormente sumergirla totalmente en un vaso precipitado con agua destilada.
- ✓ Colocar el vaso precipitado con la probeta en baño de agua (60°C) de forma que el agua del baño quede al mismo nivel que del vaso.
- ✓ Mantener el baño como mínimo 30 minutos a una temperatura de 60°C.
- ✓ Retirar la probeta del baño María y secar cuidadosamente la humedad superficial.
- ✓ Determinar el peso de dicha probeta con el agua destilada y designar este dato con la letra “B”.
- ✓ Calentar una pequeña cantidad de cemento asfáltico hasta alcanzar una condición fluida, mediante la aplicación de calor en forma suave.

- ✓ Una vez que la muestra esté suficientemente fluida verter a la probeta aproximadamente una cantidad de 15 ml, tomando las precauciones para evitar que el material toque las paredes de la probeta por encima de su nivel final.



*FIGURA N° 46 Probeta con 15 ml de asfalto*

- ✓ Dejar que enfríe la probeta y su contenido a la temperatura ambiente para posteriormente pesar y designar este dato con la letra “C”.



*FIGURA N° 47 Probeta*

*María*

*con asfalto en baño*

- ✓ Mantenerlo a esta temperatura por unos 30 minutos.
- ✓ Retirar la probeta del vaso precipitado, secar la humedad superficial y determinar el peso para designarlo con la letra "D".

### **DATOS**

Peso Picnómetro=32.5g

Peso Picnómetro + Agua (25°C)=66.21g

Peso Picnómetro + Muestra=50.5g

Peso Picnómetro + Agua + Muestra=66.27g

$$\rho_b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)} * \rho_w * 1000$$

$$\rho_w = \frac{(B - A) - (D - C)}{(C - A) * 1000} * \rho_b$$

Donde:

$\rho_b$ =Densidad del agua a temperatura del ensayo (60°C)

$\rho_w$ =Densidad del asfalto a la temperatura del ensayo (60°C)

A= Peso de la probeta seca y limpia

B= Peso de la probeta + agua destilada (25 ml a 60°C)

C= Peso de la probeta + material asfáltico (° T ambiente)

D= Peso de la probeta + agua destilada (60°C)

El valor obtenido es el siguiente:

Peso específico =1.004grs./cm<sup>3</sup> y se encuentra dentro del rango (0.95 - 1.005)

### **3.6. DISEÑO DEL TRATAMIENTO**

#### **AGREGADOS PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

De acuerdo con las características técnicas de los materiales para tratamientos superficiales se hace notar que para poder construirlos, se tiene ya los materiales disponibles por parte de la Entidad S.E.D.E.C.A., que es, en este caso, el Servicio Departamental de Caminos, el cual es una de las entidades dependientes del Gobierno Departamental de Tarija, por lo que los agregados a ser empleados para la construcción del tratamientos son provenientes de la Comunidad de El Rancho y Tolomosa.

En el caso de los materiales extraídos de la comunidad de “**El Rancho**”, la procedencia de este material es de origen pluvial proveniente de los afluentes del Río Guadalquivir a las alturas de la comunidad de El Rancho y de los bancos de extracción ubicados en la misma comunidad que también son de materiales rodados de los yacimientos naturales que se encuentran en depósitos naturales de áridos.

Por otra parte, los materiales extraídos del Río de la Comunidad de Obrajes tienen similar procedencia a los anteriores, por lo que este material es también de origen pluvial proveniente de los afluentes del mismo.

*Tabla N° 21 Tamaño de agregados para tratamientos superficiales*

Tipo de Agregado	% PASA POR LOS TAMICES NORMA IRAM							
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°50
	(25mm)	(19mm)	(12,5mm)	(9,5mm)	(4,75mm)	(2,36mm)	(1,18mm)	(0,30mm)
TIPO B	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-	-
TIPO D	-	-	100	85-100	10 - 30	0-10	0 - 5	-
TIPO E	-	-	-	100	85-100	10 - 40	0-10	0 - 5

**Fuente S.N.C.:** Agregados para tratamientos superficiales.

Estos agregados serán empleados en el proyecto, tomando en cuenta el método de diseño de Tratamientos Superficiales por el Método de F.M. Hanson, el cual establece que el tamaño nominal máximo del agregado deberá estar comprendido entre 1/2" y 1/4" de diámetro. Generalmente la relación del tamaño máximo al tamaño mínimo para el agregado de tratamiento superficial debe ser de 2 : 1, con una razonable tolerancia de tamaños, por lo que en la primera capa el tamaño máximo del agregado será el que determine el espesor total del tratamiento y de acuerdo al presente estudio se

determina que la primera capa estará constituida de material “TIPO-B”, cuyo tamaño máximo será de 1” de modo que la segunda capa será la capa de sello de “TIPO E” respectivamente de acuerdo al siguiente cuadro:

*Tabla N° 22 Tipos de materiales a emplearse por capa del tratamiento superficial*

N° CAPA	TIPO DE AGREGADO
Primera	Tipo B
Segunda (Sello)	Tipo E

Fuente S.N.C.: Agregados para tratamientos superficiales.

## CEMENTO ASFÁLTICO PARA TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

### Tipos de Cementos Asfálticos de Fraguado Medio para Tratamientos Superficiales

Tomando en cuenta las características de los Asfaltos a ser empleados en la ejecución de los tratamientos superficiales, de acuerdo al “**Instituto del Asfalto MS-13**”, se establece que el material bituminoso a emplear en este tipo de pavimentos, al margen de que debe cumplir con los requerimientos técnicos en laboratorio, se debe elegir el grado correcto tomando en cuenta las características climatológicas del lugar, el mismo que deberá tener una afinidad entre sí de modo que puedan resistir la acción del agua, además el ligante asfáltico no debe hacerse demasiado quebradizo para poder resistir los impactos del tráfico de los vehículos.

Tomando en cuenta las especificaciones del “**Instituto del Asfalto MS-13**” y de acuerdo con la **Tabla N° 19**, se establece que para la ejecución de los tratamientos superficiales en el riego de imprimación se debe utilizar un asfalto de Curado Medio (Medium Curing) (CM), que es el más adecuado para nuestro medio, el mismo que se denomina **MC-30, MC-70, MC-800**

*Tabla N° 23. Tipos de asfaltos para tratamientos superficiales*

TIPOS DE CONSTRUCCION	Cementos asfálticos		ASFALTOS LIQUIDOS																								
			CURADO RAPIDO RC				CURADO MEDIO MC				CURADO LENTO SC				EMULSIONES ANIONICAS			EMULSIONES CATIONICAS									
	120/150	200/300	70	250	800	3000	30	70	250	800	3000	70	250	800	3000	RS-1	RS-2	MS-2	SS-1	SS-1h	rs-2K	RS-3K	SM-K	CM-K	SS-K	SS-Kh	
Tratamientos superficiales con recubrimientos de agregados	X	X	X	X	X	X			X	X	X					X	X				X	X					
Capas de sello	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X				X	X		X1	X1	X	X					X1	X1
Sello de lechada																		X	X						X	X	
Sello																			X2							X2	
Capa de pega			X															X2	X2						X2	X2	
Imprimación			X	X			X	X	X			X	X														
Antipolvo							X	X			X							X2							X2		

Fuente S.N.C.: Agregados para tratamientos superficiales.

De la misma manera el asfalto a ser empleado para las capas de tratamientos superficiales con recubrimientos de agregados debe ser el asfalto Tipo **MC-800** y para la capa de sello el asfalto Tipo **MC-70**, los cuales se describen seguidamente.

Tomando en cuenta las especificaciones técnicas que maneja el SE.DE.CA. (Servicio Departamental de Caminos), se manejan las siguientes proporciones de Cemento Asfáltico (C.A.) y disolvente, el cual corresponde al combustible kerosene, cuyas proporciones se detalla de la siguiente manera:

Tabla N° 24 Tipos de cemento asfáltico de fraguado medio empleados para tratamientos superficiales

Tipo de CA	%de C.A.	%Solvente(Kerosene)	Temp. Riego (°C)	Viscosidad
MC-30	52	48	120-130	75-100
MC-70	63	37	120-130	60-120
MC-800	82	18	120-130	100-120

Fuente S.N.C.: Agregados para tratamientos superficiales.

## DISEÑO DE LAS DOSIFICACIONES DE CEMENTO ASFÁLTICO Y AGREGADO PARA EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Las fórmulas que se describen seguidamente para determinar las cantidades de agregado, como también del cemento asfáltico, están basadas en el trabajo del Método de Hanson y el Australiano Norman Mac Leod, de acuerdo con el “**Instituto del Asfalto MS-13**”, el cual establece que la cantidad de agregado en libras por yarda cuadrada y la cantidad de asfalto en galones por yarda cuadrada, se pueden encontrar fácilmente con las siguientes relaciones:

### **FÓRMULAS DE DISEÑOS PARA AGREGADOS GRADADOS**

Para poder diseñar las dosificaciones del agregado y el asfalto para los tratamientos superficiales, primeramente se determina el módulo de esparcimiento mediante la siguiente fórmula que se basa en los datos obtenidos en las curvas de gradación obtenidas mediante el tamizado en laboratorio.

$$M = 0.20 \frac{(a+b)}{2} + 0.60 \frac{(c+b)}{2} + 0.20 \frac{(d+c)}{2}$$

**Donde:** **M** =Módulo de esparcimiento.

**a** =Tamaño del tamiz por el que pasa 100% del agregado en Pulgadas.

**b** =Tamaño del tamiz por el que pasa 80% del agregado en Pulgadas.

**c** =Tamaño del tamiz por el que pasa 20% del agregado en Pulgadas.

**d** =Tamaño del tamiz por el que pasa 0% del agregado en Pulgadas.

Después de que el módulo de esparcimiento fue determinado, se puede determinar las cantidades de agregado en Libras por Yarda Cuadrada y las cantidades de asfalto en Galones por Yarda Cuadrada, mediante las siguientes relaciones:

$$S = 0.80 * M * W$$

$$A = 1.22 * M * T + V$$

**Donde:** **S** =Número de Libras de Agregado por Yarda Cuadrada (Lb/Yarda<sup>2</sup>).

**M** =Módulo de Esparcimiento.

**W** =Peso Unitario Suelto del Agregado en Libras por Pie Cúbico

(Lb/Pie<sup>3</sup>).

**V** =Variable en Galones por Yarda Cuadrada, para Tomar en Cuenta la

Absorción de Asfalto por la Superficie del Pavimento y por el

Agregado. (Tabla 23).

**A** =Asfalto Regado en Galones por Yarda Cuadrada.

**T** =Factor de Tráfico (Tabla 22).

*Tabla N° 25 Factores de tráfico para tratamientos superficiales*

Agregado	Factor de tráfico=Porcentaje (expresado en forma decimal ) 20% de los vacíos del agregado a ser llenados de asfalto				
	TRÁFICO DE VEHÍCULOS POR DÍA				
	Debajo de 100	100 a 500	500 a 1000	1000 a 2000	2000
Agregado de buena calidad	0.85	0.75	0.70	0.65	0.50

**Fuente S.N.C.:** Agregados para tratamientos superficiales.

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. Mc. Leod "Do`s and Don`ts of Seal Coating", presentado en la conferencia del ARBA, en Tennessee, en septiembre de 1963.

*Tabla N° 26 Valores de "v"*

TIPO DE SUPERFICIE	VALORES DE "V"
Superficie suave y no porosa	0
Superficie oxidada y ligeramente porosa	0,05
Superficie oxidada con huecos, porosa y oxidada	0,15

**Fuente S.N.C.:** Agregados para tratamientos superficiales.

Para diseñar las dosificaciones de agregados y del asfalto para los tratamientos superficiales, partimos de los siguientes datos:

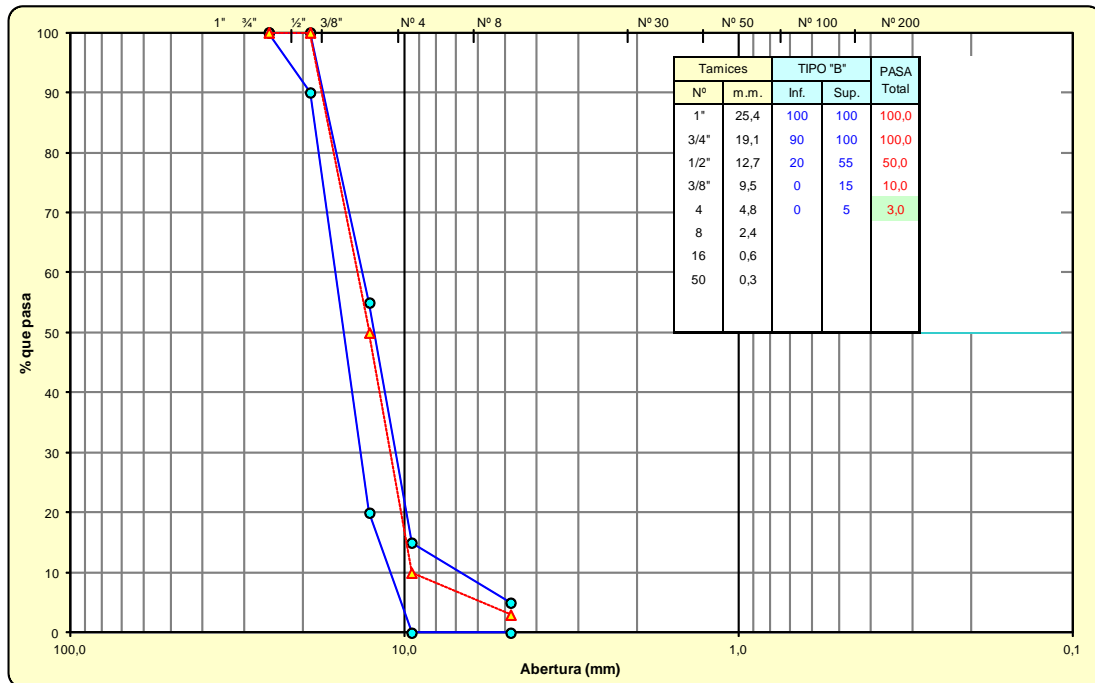


FIGURA N° 48 % Que pasa tamizado material (Tipo B)

De la gráfica del material del "TIPO-B", el cual es extraído de la Comunidad de Obrajes, se tienen los siguientes valores para calcular el módulo de esparcimiento "M":

### DOSIFICACIÓN DE CANTIDADES DE AGREGADO Y ASFALTO PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL

#### a).-Primera Capa Agregado - Asfalto

##### MATERIAL AGREGADO TIPO-B (SEGÚN MS-13)

Para determinar las cantidades de agregado y asfalto por m<sup>2</sup>, se debe tomar en cuenta los siguientes valores para calcular el módulo de esparcimiento "M":

<b>a=</b>	25,40	mm=	1,0000	Pulg
<b>b=</b>	16,56	mm=	0,6520	Pulg
<b>c=</b>	10,50	mm=	0,4134	Pulg
<b>d=</b>	4,80	mm=	0,1890	Pulg

Se procede a calcular el módulo de esparcimiento:

$$M = 0.10 * (a + b) + 0.30 * (c + b) + 0.10(d + c)$$

<b>M=</b>	<b>0,5450</b>
-----------	---------------

Del ensayo realizado en Laboratorio se tiene el W (Peso unitario Suelto) en Lib/Pie3

$$W = 1,352 \text{ gr/Cm}^3 = 88,795 \text{ lb/pie}^3$$

Seguidamente con la ecuación 4,3 se calcula las cantidades de agregado de Lib/Yarda2.

Si  $M = 0,5450$   
 $W = 88,795 \text{ lb/pie}^3$

entonces:

$$S = 0.80 * M * W$$

$$S = 38,717 \text{ Lib/Yarda}^2$$

Realizando las conversiones de las unidades se tiene la cantidad de agregado por metro cuadrado:

<b>S=</b>	<b>21,004</b>	<b>Kg./m2</b>
-----------	---------------	---------------

Para realizar el cálculo de Cemento Asfáltico en Galones por Yarda Cuadrada, se parte de los siguientes datos :

Si  $M = 0,5450$   
 $V = 0,000 \text{ Galones/yarda}^2 \text{ (Tabla 23)}$   
 Superficie suave y no porosa  
 $T = 0,75 \text{ Galones/yarda}^2 \text{ (Tabla 22)}$   
 Tomando en cuenta un Tráfico entre 500 a 1000 Veh/día.

Por lo tanto la cantidad de Cemento Asfáltico en Galones por Yarda Cuadrada es:

$$A = 1.22 * M * T + V$$

$$A = 0,499 \text{ Galones/yarda}^2$$

Realizando las conversiones de las unidades se tiene la cantidad de C.A. por metro cuadrado:

<b>A=</b>	<b>2,258</b>	<b>Litros/m2</b>
-----------	--------------	------------------

### **b).-Segunda Capa Agregado - Asfalto**

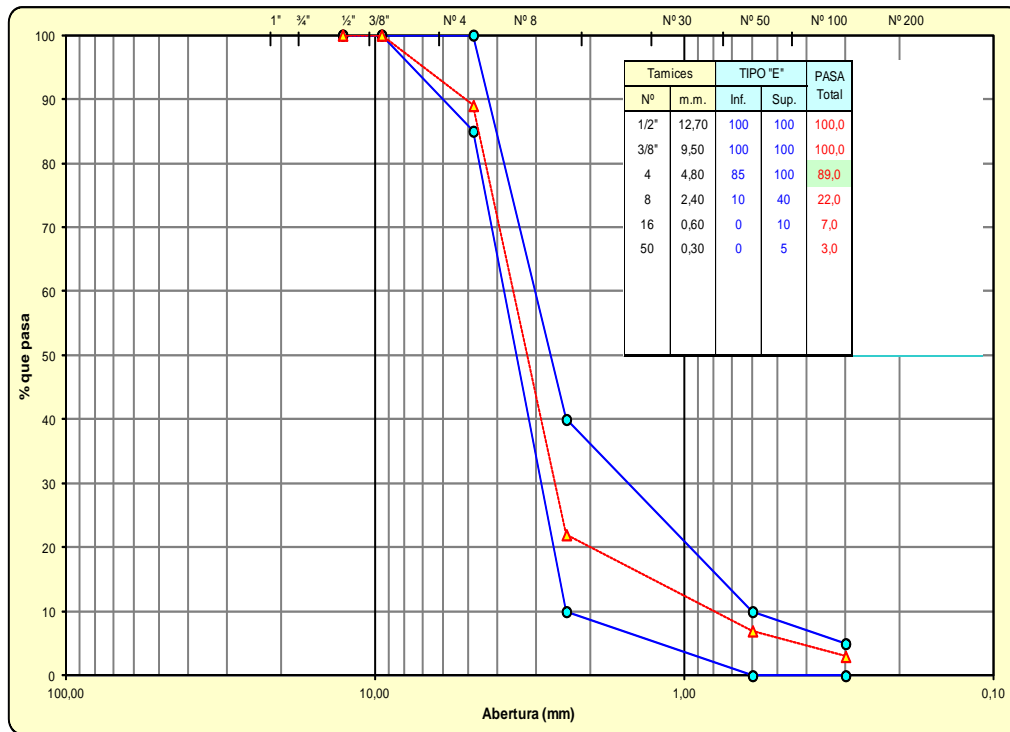


FIGURA N°49.-Material Agregado( Tipo-E)

Para determinar las cantidades de agregado y asfalto por m<sup>2</sup>, se debe tomar en cuenta los siguientes valores para calcular el módulo de espesamiento "M":

<b>a=</b>	9,50	mm=	0,3740	Pulg
<b>b=</b>	4,30	mm=	0,1693	Pulg
<b>c=</b>	1,70	mm=	0,0669	Pulg
<b>d=</b>	0,30	mm=	0,0118	Pulg

Se procede a calcular el módulo de espesamiento:

$$M = 0.10 * (a + b) + 0.30 * (c + b) + 0.10(d + c)$$

<b>M= 0,1331</b>
------------------

Del ensayo realizado en Laboratorio se tiene el W (Peso unitario Suelto) en Lib/Pie<sup>3</sup>  
(SEGÚN AASTHO-T19)

$$W = 1,379 \quad \text{gr/Cm}^3 = 90,568 \quad \text{lb/pie}^3$$

Seguidamente con la ecuación 4,3 se calcula las cantidades de agregado de Lib/Yarda<sup>2</sup>.

$$\begin{array}{l} \text{Si} \quad \mathbf{M=} \quad 0,1331 \\ \quad \quad \mathbf{W=} \quad 90,568 \quad \text{lb/pie}^3 \end{array}$$

entonces:

$$\begin{array}{l} \mathbf{S = 0.80 * M * W} \\ \mathbf{S=} \quad 9,642 \quad \text{Lib/Yarda}^2 \end{array}$$

Realizando las conversiones de las unidades se tiene la cantidad de agregado por metro cuadrado:

<b>S=</b>	<b>5,231</b>	<b>Kg./m<sup>2</sup></b>
-----------	--------------	--------------------------

Para realizar el cálculo de Cemento Asfáltico en Galones por Yarda Cuadrada, se parte de los siguientes datos :

<b>Si</b>	<b>M=</b>	0,1331			
	<b>V=</b>	0,0	Galones/yarda <sup>2</sup>	(Tabla 23)	
			Superficie suave y no porosa		
	<b>T=</b>	0,75	Galones/yarda <sup>2</sup>	(Tabla 22)	
			Tomando en cuenta un tráfico entre 500 a 1000 Veh/día.		

Por lo tanto la cantidad de Cemento Asfáltico en Galones por Yarda Cuadrada es:

$$\begin{array}{l} \mathbf{A = 1.22 * M * T + V} \\ \mathbf{A=} \quad 0,122 \quad \text{Galones/yarda}^2 \end{array}$$

Realizando las conversiones de las unidades se tiene la cantidad de C.A. por metro cuadrado:

<b>A=</b>	<b>0,551</b>	<b>Litros/m<sup>2</sup></b>
-----------	--------------	-----------------------------

Seguidamente se hace un resumen de los resultados realizados tomando en cuenta los rangos y tolerancias de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas.

*Tabla N° 27 Resumen de diseño de las dosificaciones agregado-asfalto*

CAPAS DE TRATAMIENTO DOBLE	Tipo de Agregado	ESPECIFICACIONES		DOSIFICACIÓN SEGÚN DISEÑO	
		AGREGADO (Kg/m <sup>2</sup> )	ASFALTO (Lt/m <sup>2</sup> )	AGREGADO (Kg/m <sup>2</sup> )	ASFALTO (Lt/m <sup>2</sup> )
1° CAPA	TIPO - B	21 - 27 Kg/m <sup>2</sup>	1,80-2,25 Lt/m <sup>2</sup>	<b>21,00 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>2,25 Lt/m<sup>2</sup></b>
2° CAPA(Sello)	TIPO - E	5 - 8 Kg/m <sup>2</sup>	0,45-0,70 Lt/m <sup>2</sup>	<b>5,23 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>0,55 Lt/m<sup>2</sup></b>

Fuente: Elaboración propia

Las cantidades de asfalto (Lt/m<sup>2</sup>), cumplen con las especificaciones técnicas para cada capa de tratamiento superficial.

### **EJECUCIÓN DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES**

La ejecución de los tratamientos superficiales a diferencia de las mezclas asfálticas elaboradas en planta son ejecutados en sitio, lo cual consta de una o más aplicaciones de asfaltos alternadas con aplicaciones de agregados pétreos de diferentes tamaños de acuerdo a lo especificado anteriormente, el mismo que no aporta a la estructura del pavimento y simplemente lo protege otorgándole gran resistencia a la acción abrasiva del tránsito y a la vez lo impermeabiliza.

Este tipo de carpetas asfálticas del tipo flexibles son económicos, fáciles de construir y de larga duración.

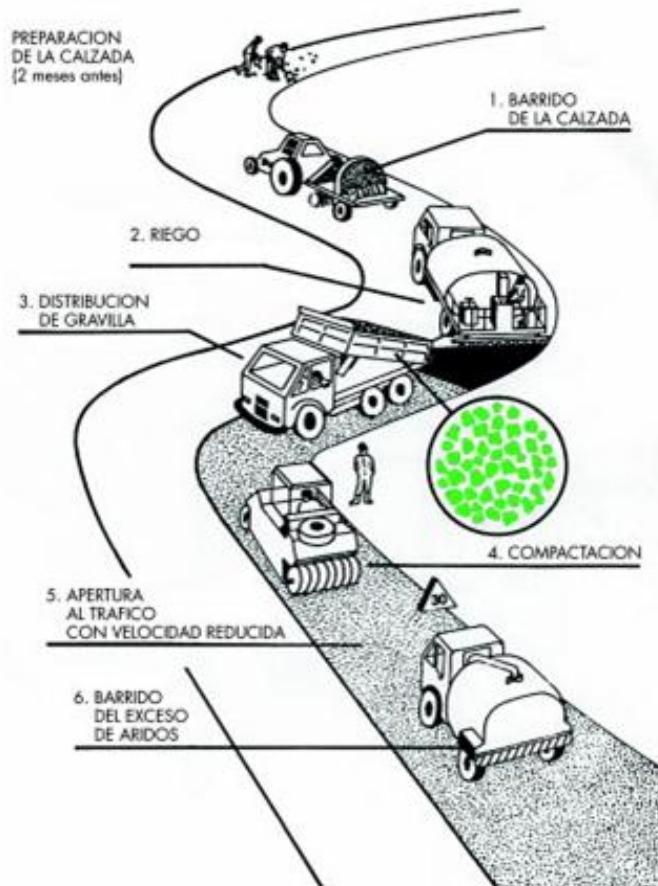
La ejecución del tratamiento superficial en el tramo vial en estudio, consta de lo siguiente:

Primeramente es importante hacer notar que para construir la capa de rodadura se tiene que tener ya el paquete estructural construido o se debe constar de una base totalmente construida y limpia.

Seguidamente se da un riego con cemento asfáltico MC-30 a razón de 1.1 lt/m<sup>2</sup>, a una temperatura entre 120–135°C, a este proceso se lo denomina riego de imprimación.

Pasados 2 ó 3 días después de que el riego de imprimación penetre en la base del paquete estructural, se le da un riego de cemento asfáltico MC-800 a razón de 2.25 lt/m<sup>2</sup> a una temperatura de 120 – 135°C, rápidamente sin esperar de que esta se enfríe se le da un riego de agregado del TIPO-B, a razón de 21,0 Kg/m<sup>2</sup>, seguidamente se

pasa un compactador de neumáticos o un rodillo de 6 a 8 Toneladas, hasta que el agregado quede casi totalmente adherido al riego.



*FIGURA N° 50 Ejecución de tratamientos superficiales*

Terminada la primera capa se puede empezar la segunda capa o capa de sello, que consiste en dar un riego de cemento asfáltico MC-800 a razón de  $0.55 \text{ lt/m}^2$  a una temperatura de  $120\text{-}135^\circ\text{C}$ , inmediatamente se da un riego de agregado TIPO-E, a razón de  $5.23 \text{ Kg/m}^2$ , inmediatamente se procede a la compactación respectiva.

### **3.7. DISEÑO DE LA IMPRIMACIÓN REFORZADA**

#### **AGREGADOS PARA IMPRIMACIÓN REFORZADA**

Los agregados para el diseño de la imprimación reforzada son extraídos de la comunidad de Obrajes y tienen similar procedencia a los anteriores de tratamientos superficiales, por lo que este material es también de origen pluvial proveniente de los afluentes del mismo río, de tal manera cumplen con los requisitos técnicos y están establecidos por las normas **AASHTO** (American Association of State Highways and Transportation Officials, USA), y **ASTM** (American Society for Testing) **IRAM** (Normas del Instituto de Racionalización de Materiales, Argentina)

### **DETERMINACIÓN DE LAS CANTIDADES DE AGREGADOS**

Para determinar las dosificaciones de los agregados se debe tener en cuenta los espesores de la carpeta asfáltica a ser diseñada en la carretera de estudio y al mismo tiempo se debe considerar los diámetros máximos establecidos de acuerdo a las normas, en lo cual se establece que *“El tamaño máximo del agregado pétreo no deberá ser mayor que las 2/3 partes del espesor de la carpeta proyectada”*, por lo que se proyecta de la siguiente manera:

De acuerdo a las Normas establecidas y recomendaciones del **Subcomité de Estudios CPA (Comisión Permanente del Asfalto)**, establece que las Mezclas Asfálticas de carpetas de rodadura de bajo espesor son de ( $\leq 5\text{cm.}$ ) y se tiene un tamaño máximo de agregados de 12mm. (1/2”).

Tomando en cuenta estas recomendaciones, para fines de diseño y colocación en obra, se adopta un espesor de 5cm. con un tamaño máximo de agregado de 12mm., para la mezcla asfáltica a ser diseñada en el tramo de estudio.

Se tomará en cuenta la granulometría establecida por la **(Comisión Permanente del Asfalto) C.P.A. (Argentina)**, el mismo que usan las normas **IRAM** descritas seguidamente.

Tamaño Máximo del agregado para una mezcla normal=  $E * (2/3) = 2.6667 \text{ Cm} = 1\text{Pulg.}$

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se puede concluir que se puede elegir agregados con tamaños máximos hasta de 1 Pulg. y como recomendaciones por parte

del **Subcomité de Estudios CPA, un tamaño máximo de 12mm., (1/2")**, por lo tanto se tomarán en cuenta las granulometrías recomendadas.

Seguidamente se muestra las gráficas de las curvas de las mezclas de bajos espesores, las mismas que cuentan con tamaños máximos de hasta 19 mm (3/4"), de tal manera que cumplen con las exigencias que fueron descritas anteriormente.

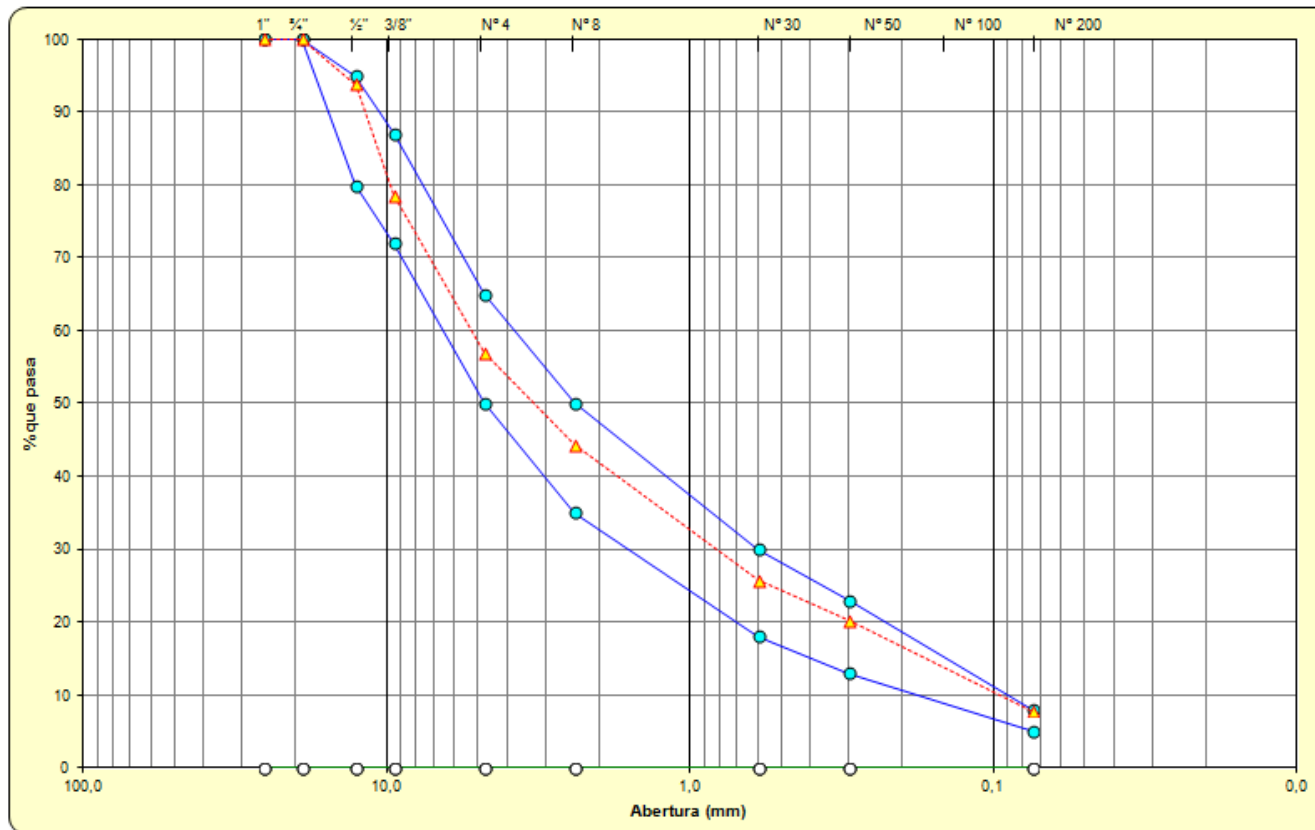
La granulometría a ser empleada en el diseño de la imprimación reforzada aplicada para el tramo en estudio es la siguiente:

*Tabla N° 28 Agregados para el diseño del tramo vial*

Tamices/IRAM		GRADACIÓN CAC D 12		% PASA AGREGADO
N°	m.m.	INFERIOR	SUPERIOR	
(3/4")	19,000	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
(1/2")	12,500	<b>80</b>	<b>95</b>	<b>93,9</b>
(3/8")	9,500	<b>72</b>	<b>87</b>	<b>78,6</b>
(N°4)	4,750	<b>50</b>	<b>65</b>	<b>56,9</b>
(N°8)	2,360	<b>35</b>	<b>50</b>	<b>44,3</b>
(N°30)	0,600	<b>18</b>	<b>30</b>	<b>25,7</b>
(N°50)	0,300	<b>13</b>	<b>23</b>	<b>20,20</b>
(N°200)	0,075	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>7,80</b>

Se muestran las gráficas del agregado que fue seleccionado para el diseño de la imprimación reforzada tomando en cuenta las especificaciones de la C.P.A. (Comisión Permanente del Asfalto-Argentina), en la cual se observa que la curva de diseño se encuentra perfectamente entre las tolerancias especificadas y por lo tanto se procede al diseño de la imprimación reforzada E=5Cm.

### GRANULOMETRÍA PARA MEZCLAS DE IMPRIMACIÓN REFORZADA (CAC D12)





*FIGURA N°52.-Material Agregado ( Tipo-E)*

Para determinar las cantidades de agregado y asfalto por m<sup>2</sup>, se debe tomar en cuenta los siguientes valores para calcular el módulo de esparcimiento "M":

<b>a=</b>	9,50	mm=	0,3740	Pulg
<b>b=</b>	4,30	mm=	0,1693	Pulg
<b>c=</b>	1,70	mm=	0,0669	Pulg
<b>d=</b>	0,30	mm=	0,0118	Pulg

Se procede a calcular el módulo de esparcimiento:

$$M = 0.10 * (a + b) + 0.30 * (c + b) + 0.10(d + c)$$

<b>M= 0,1331</b>
------------------

Del ensayo realizado en Laboratorio se tiene el W (Peso unitario Suelto) en Lib/Pie<sup>3</sup>

$$W = 1,379 \quad \text{gr/Cm}^3 = 90,568 \quad \text{lb/pie}^3$$

Seguidamente con la ecuación 4,3 se calcula las cantidades de agregado de Lib/Yarda<sup>2</sup>.

<b>Si</b>	<b>M=</b>	0,1331	
	<b>W=</b>	90,568	lb/pie <sup>3</sup>

entonces:

$$S = 0.80 * M * W$$

$$S = 9,642 \quad \text{Lib/Yarda}^2$$

Realizando las conversiones de las unidades se tiene la cantidad de agregado por metro

cuadrado:

<b>S=</b>	<b>5,231</b>	<b>Kg./m<sup>2</sup></b>
-----------	--------------	--------------------------

Para realizar el cálculo de Cemento Asfáltico en Galones por Yarda Cuadrada se parte de

los siguientes datos :

<b>Si</b>	<b>M=</b>	0,1331	
	<b>V=</b>	0,0	Galones/yarda <sup>2</sup> (Tabla 23) Superficie suave y no porosa
	<b>T=</b>	0,75	Galones/yarda <sup>2</sup> (Tabla 22) Tomando en cuenta un Tráfico entre 500 a 1000 Veh/dia.

Por lo tanto la cantidad de Cemento Asfáltico en Galones por Yarda Cuadrada es:

$$A = 1.22 * M * T + V$$

**A= 0,122 Galones/yarda<sup>2</sup>**

Realizando las conversiones de las unidades se tiene la cantidad de C.A. por metro cuadrado:

<b>A=</b>	<b>0,551</b>	<b>Litros/m<sup>2</sup></b>
-----------	--------------	-----------------------------

Seguidamente se hace un resumen de los resultados realizados tomando en cuenta los rangos y tolerancias de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas.

*Tabla N° 30 Resumen de diseño de las dosificaciones agregado-asfalto*

CAPA DE SELLO	Tipo de Agregado	ESPECIFICACIONES		DOSIFICACIÓN SEGÚN DISEÑO	
		AGREGADO (Kg/m <sup>2</sup> )	ASFALTO (Lt/m <sup>2</sup> )	AGREGADO (Kg/m <sup>2</sup> )	ASFALTO (Lt/m <sup>2</sup> )
CAPA(Sello)	TIPO - E	5 - 8 Kg/m <sup>2</sup>	0,45-0,70 Lt/m <sup>2</sup>	<b>5,23 Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>0,55 Lt/m<sup>2</sup></b>

**Fuente:** Elaboración propia

Las cantidades de asfalto (Lt/m<sup>2</sup>), cumplen con las especificaciones técnicas para cada capa de imprimación reforzada.

### **EJECUCIÓN DE LA IMPRIMACIÓN REFORZADA.**

Primeramente se removió o escarificó 5 cm a la superficie o base a ser tratada mediante la imprimación reforzada, luego se pasa el rodillo en una sola pasada sin vibrar, posteriormente efectuar el primer riego con diluido asfáltico o riego de imprimación de curado medio a razón de 1.6 Lt/m<sup>2</sup> de asfalto de MC-70 (70% asfalto y 40% kerosén) a

una temperatura entre 120–135°C y cerrar el tránsito durante 48 horas para permitir la mayor penetración del diluido asfáltico en la superficie de la base.

Pasado estos dos días se procede a realizar la compactación hasta que la superficie de la base quede totalmente consolidada, después de este proceso de compactación se procede a darle un riego de cemento asfáltico de MC-70 a razón de 0.8 Lt/m<sup>2</sup> a una temperatura de 120 – 135°C, después se distribuye agregado a razón de 6 kg/m<sup>2</sup> inmediatamente se procede a la compactación respectiva, hasta que el agregado quede totalmente adherido al riego.

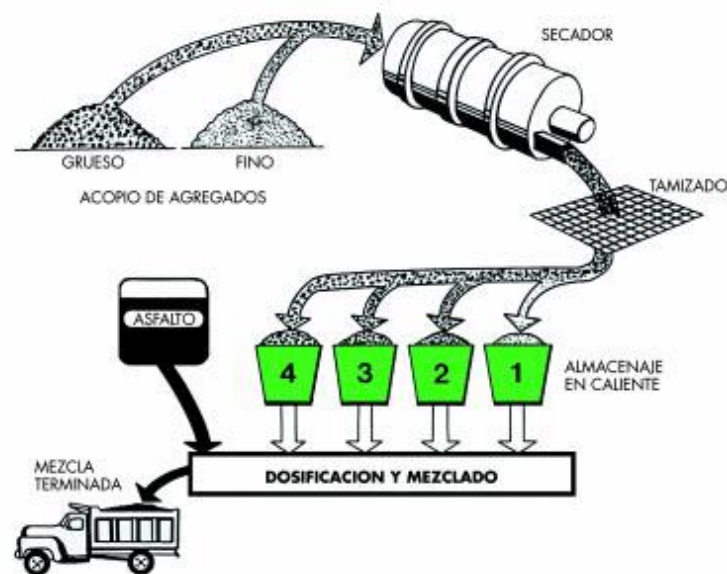
Para la ejecución de la imprimación reforzada y tratamientos superficiales en el tramo en estudio se debe considerar que la fabricación de esta mezcla en caliente se la realiza en plantas estacionarias, por lo que éstas están sometidas al control en laboratorio por diferentes ensayos de agregado-asfalto de acuerdo a las especificaciones técnicas establecidas por normas vigentes.

Para que esta mezcla asfáltica sea puesta en la capa de rodadura de la carretera, se debe transportar en equipo de acarreo hasta el lugar en donde será colocada, tomando en cuenta que esta mezcla conserve su temperatura hasta ser puesta en la capa de rodadura de la carretera, para lo cual se debe incorporar esta mezcla a una terminadora que nos posibilita extender la mezcla en el pavimento de acuerdo a un determinado espesor que en este caso es de 5,0 cm.

La mezcla asfáltica de bajos espesores, en este caso la imprimación reforzada de espesor de E=5Cm., será producida mediante la mezcla en planta de agregado del tipo CAC-D12 descrito anteriormente con la aplicación de Cemento Asfáltico Diluido TIPO 85-100, en las cantidades descritas anteriormente.

El equipo mínimo para la ejecución de mezclas en caliente, es el siguiente: Depósito para cemento asfáltico equipado con una bomba de circulación, que garantice un flujo continuo al mezclador durante todo el proceso de mezclado. Se debe calentar el cemento asfáltico a las temperaturas fijadas, para lo cual tiene que contar con serpentines de aceite, vapor o electricidad o cualquier otro medio que no implique el contacto de fuego directo con las paredes del depósito. Todas las cañerías y estanques deberán estar dotados de capas aislantes a fin de evitar pérdidas de calor y quemaduras del personal de obra.

Una planta mezcladora en caliente equipada con un sistema para calentar, secar y llevar el árido a la temperatura de mezclado, con unidades clasificadoras para separar el agregado y permitir su óptima dosificación y con una unidad de mezcla, que recibe el cemento asfáltico y los áridos perfectamente dosificados a la temperatura recomendada como se ilustra en la figura.



*FIGURA N° 53 Esquema de una planta asfáltica en caliente*

Los vehículos de alto tonelaje (Volquetes) para el transporte de mezcla en caliente, encargados para evitar que disminuya la temperatura de la mezcla hasta ser colocada en la vía del estudio.

Una vez transportada la mezcla asfáltica al tramo vial, se procede a esparcirla en el carril de la carretera, en el espesor especificado anteriormente,  $E=5\text{Cm}$ , mediante el equipo Finisher autopropulsada-terminadora; y de esa manera conformar una mezcla nivelada, según las cotas establecidas, la misma que debe poseer marchas hacia adelante y atrás, además de estar equipada con alisadores, vibradores y dispositivos de calentamiento que permitan obtener la temperatura exigida para la colocación de la mezcla sin irregularidades.

Seguidamente se debe realizar el aplanado con equipo de compactación constituido por rodillos neumáticos y rodillos lisos tipo tándem o rodillos vibratorios, los cuales deben tener una carga de 8 a 15 toneladas, por su parte los rodillos neumáticos

autopropulsados, deben estar dotados de neumáticos que permitan una presión de 35 a 120 libras por pulgada cuadrada, con un peso variable entre 5 y 35 toneladas.

En los rodillos vibratorios es necesario ajustar la frecuencia y amplitud de compactación al espesor de la capa a compactar, fijando una velocidad apropiada y avanzando siempre en el sentido de giro de la excéntrica.

### 3.8. DISEÑO DE EL RIPIADO

#### GRADACIONES PARA MATERIALES DE CAPA DE RODADURA

*Tabla N° 31 Porcentajes por peso del material que pasa por tamices con malla cuadrada según AASHTO T-11 y T-27.*

TAMIZ	TIPO DE GRADACIÓN		
	A	B	C
3"	100		
2"	-	100	
1 1/2"	-	-	100
1"	-	-	-
3/4"	-	-	-
3/8"	-	-	-
No. 4	15-45	20-50	25-55
No. 10	-	-	-
No. 40	-	-	-
No. 200	0-10	0-10	0-10

Fuente S.N.C.: Agregados para tratamientos superficiales.

La capa de rodadura está comprendida de 10cm de altura y tiene una gradación tipo B y una vida útil de año como se muestra en la respectiva tabla.

#### VIDA ÚTIL DE EL RIPIADO

*Tabla N° 32 Vida útil del ripiado*

DESCRIPCION	DISEÑO
Ripiado	T = 1 años

#### EJECUCIÓN

Comprende las operaciones de producción, distribución, mezcla y pulverización, humedecimiento o desecación, compactación y acabado de los materiales transportados del yacimiento, realizadas sobre la capa de rodadura debidamente regularizada y aprobada en el ancho establecido, en cantidades que permitan llegar al espesor diseñado de 10 cm luego de su compactación. En el caso de utilización de plantas trituradoras y

dosificadoras se deberá agregar en estas instalaciones el agua necesaria para obtener la humedad de compactación.

Las densidades de la capa acabada deberán ser como mínimo de 100% de la densidad máxima determinada según el ensayo AASHTO T-180-D, el contenido de humedad deberá variar como máximo entre  $\pm 2\%$  de la humedad óptima obtenida en el ensayo anterior.



*FIGURA N°54 Material de ripio en la calzada*

El material será esparcido sobre la capa inferior aprobada de modo que se evite la segregación y en cantidad tal que permita obtener el espesor programado después de su compactación.



*FIGURA N° 55 Esparcido del material para el ripiado*



*FIGURA N° 56 Compactado del material para el ripiado*

El material transportado hasta la plataforma deberá ser inmediatamente esparcido para evitar la concentración del tráfico sobre fajas limitadas de la capa inferior.

Se prevé la utilización de gravas naturales que cumplan con las especificaciones. Cuando por motivos de orden técnico o económico, para mejor aprovechamiento de los yacimientos y de instalaciones, se podrá triturar todo o parte de los materiales granulares.



*FIGURA N° 57 Camino ripiado acabado*

Las mezclas de suelos, arenas, agregados triturados y/o gravas naturales para encuadrarlas dentro de las especificaciones deberán ser dosificadas en una planta. Los materiales granulares naturales también deberán ser seleccionados y dosificados en planta, cuando sea necesario para atender los requerimientos de las especificaciones.

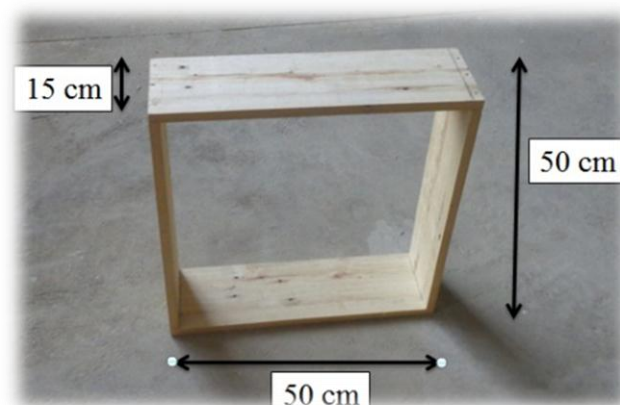
### **CONTROL DE CALIDAD DE EL RIPIADO**

Serán ejecutados los siguientes ensayos:

- a) Un ensayo de compactación para la determinación de la densidad máxima según el método AASHTO T-180-D, con un espaciamiento máximo de 500 m. lineales, con las muestras recogidas en puntos que obedezcan siempre el orden: borde derecho, eje, borde izquierdo, eje, borde derecho, etc. a 60 cm. del borde.
- b) Determinación de la densidad en sitio cada 500 m. lineales en los puntos donde fueran obtenidas las muestras para los ensayos de compactación.
- c) Determinación del contenido de humedad cada 500 m. lineales inmediatamente antes de la compactación.
- d) Ensayos de granulometría, de límite líquido y límite plástico según los métodos AASHTO T-27, AASHTO T-89 y AASHTO T-90 respectivamente, con espaciamiento máximo de 500 m. lineales.
- e) Un ensayo del índice de Soporte California (CBR), conforme el método AASHTO T-193, con la energía de compactación del ensayo AASHTO T-180-D, con un espaciamiento máximo de 1,000 m. lineales.

### **3.9. ENSAYOS DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES E IMPRIMACIÓN REFORZADA EN EL MOLDE**

Se realizó ensayos de tratamientos superficiales y de imprimación reforzada en los moldes que tienen las siguientes dimensiones y se muestran a continuación:



*FIGURA N° 58 Molde de madera para ensayos*

Preparación de la muestra en el laboratorio para realizar los ensayos de tratamiento superficial e imprimación reforzada.

Primeramente se realizó el dimensionamiento de la capa base en el molde



*FIGURA N° 59 Dimensionamiento de la capa base*

## **TRATAMIENTO SUPERFICIAL**

Sobre la base compactada se agregó cemento asfáltico mezclado con kerosén



*FIGURA N° 60 Riego de asfalto con kerosén para tratamiento superficial*

## IMPRIMACIÓN REFORZADA

Antes de agregar el cemento asfáltico se procede a la escarificación de la base, posteriormente se agrega el cemento asfáltico.



*FIGURA N° 61 Escarificación de la base*



*FIGURA N° 62 Riego de asfalto con kerosén para imprimación reforzada*



Se realizó una inspección

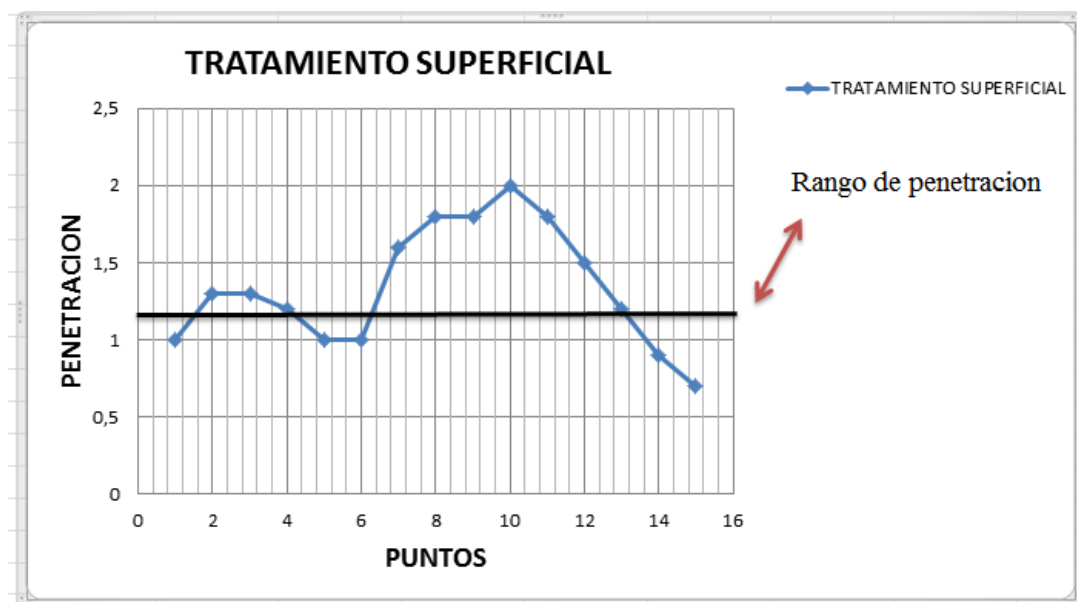
n visual de cómo el cemento asfáltico penetra sobre la superficie de la base.

*FIGURA N° 63 Penetración del cemento asfáltico sobre la superficie de la base*

### **TRATAMIENTO SUPERFICIAL**

*Tabla N° 33 Altura de penetración del asfalto del tratamiento superficial*

PUNTO	ALTURA DE PENETRACION(cm)
1	1
2	1.3
3	1.3
4	1.2
5	1
6	1
7	1.6
8	1.8
9	1.8
10	2
11	1.8
12	1.5
13	1.2
14	0.9
15	0.7



*FIGURA N° 64 Rango de penetración de asfalto del tratamiento superficial*

### IMPRIMACIÓN REFORZADA

Tabla N° 34 Altura de penetración del asfalto de la imprimación reforzada

PUNTO	ALTURA DE PENETRACIÓN(cm)
1	2.5
2	2.5
3	2.4
4	2.3
5	2.5
6	2.5
7	2.3
8	2.1
9	2.0
10	2.5
11	2.5
12	2.4
13	2.2
14	2.5
15	2.5

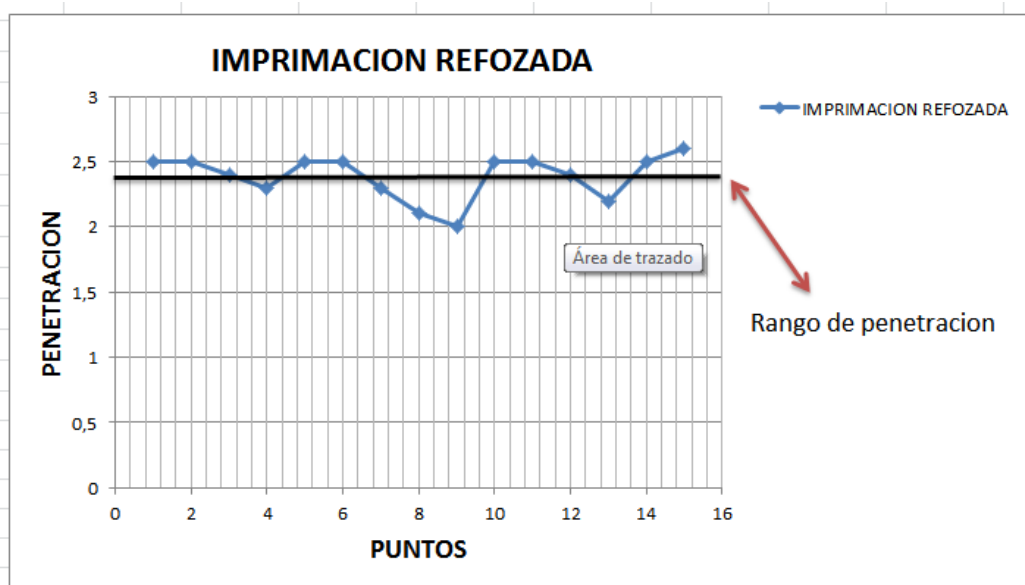


FIG  
UR  
A N°  
65  
Ran  
go  
de  
pene  
traci  
ón  
del  
asfa  
lto  
de

la imprimación reforzada

Después de 48 horas se del tratamiento imprimación reforzada



realizó la dosificación superficial y de la



*FIGURA N° 66 Dosificación de tratamiento superficial e imprimación reforzada en el laboratorio*

*Luego se procedió a realizar el compactado del tratamiento y de la imprimación reforzada*



*FIGURA N°  
de*

*67 Procedimiento  
compactado*



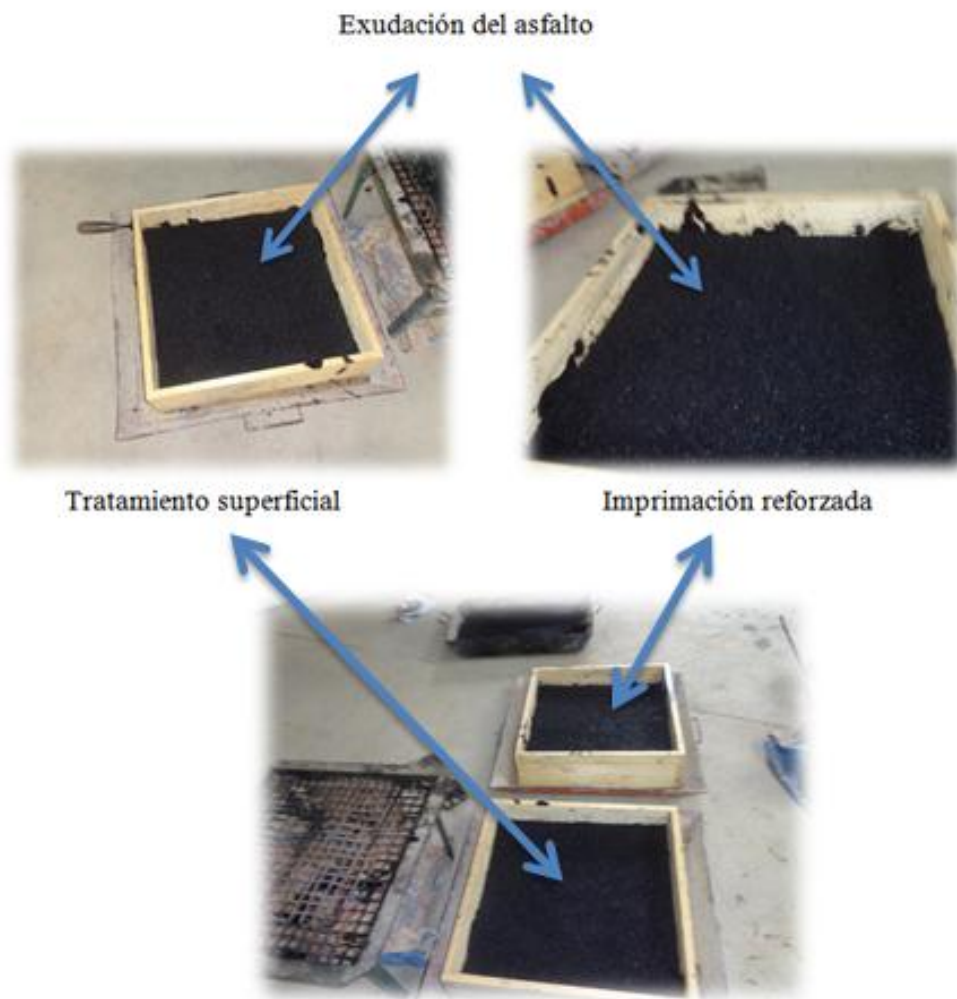
*FIGURA N° 68 Procedimiento de compactado terminado*

Después se procedió a realizar el sellado y compactado con arena y asfalto



*FIGURA N° 69 Procedimiento de compactado terminado*

Se observó la exudación del asfalto del tratamiento superficial y la imprimación reforzada



*FIGURA N° 70 Exudación del asfalto*

### **3.10. COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE AMBAS ALTERNATIVAS TRATAMIENTO SUPERFICIAL, IMPRIMACIÓN REFORZADA Y EL RIPIADO**

Se realizó una comparación económica ambas alternativas, tratamiento superficial, imprimación reforzada y el ripiado

Tabla N° 35 Precio unitario del ripiado

DATOS GENERALES					
Proyecto :		ANALISIS Y COMPARACION DE ALTERNATIVA DE CAPA DE RODADURA			
Actividad :		EL RIPIADO			
Cantidad :		16800			
Unidad :		m2			
Moneda :		Bs			
1. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL	
1	Ripio	m3	0.01	87.5	0.457625
TOTAL DE MATERIAL					0.46
2. MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL	
1	Peon	hr	0.20	16.00	3.20
2	Ayudante	hr	0.20	18.00	3.60
3	Capataz	hr	0.06	20.00	1.20
4	Operador equipo pesado	hr	0.02	22.00	0.44
5	Chofer	hr	0.02	18.00	0.36
SUBTOTAL MANO DE OBRA					8.8
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)				55%	4.84
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (14.94% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)				14.94%	2.04
TOTAL MANO DE OBRA					15.68
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL	
1	Carro aguatero	hr.	0.015	350	5.25
2	Cargador frontal	hr.	0.02	200	4
3	Motoniveladora	hr.	0.01	240	2.4
4	Compactador de rodillo liso	hr.	0.01	250	2.5
	Volqueta	hr.	0.01	250	2.5
*	HERRAMIENTAS = (5% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)				0.78
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					17.43
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					COSTO TOTAL
*	GASTOS GENERALES =10 % DE 1 + 2 + 3				3.36
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					3.36
5. UTILIDAD					
					COSTO TOTAL
*	UTILIDAD =10 % DE 1 + 2 + 3 + 4				3.69
TOTAL UTILIDAD					3.69
6. IMPUESTOS					
					COSTO TOTAL
*	IMPUESTOS IT = 3% DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5				1.22
TOTAL IMPUESTOS					1.22
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)					41.84
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)					42.57

Tabla N° 36 Precio unitario del tratamiento superficial doble

<b>Proyecto :</b>		ANALISIS Y COMPARACION DE ALTERNATIVA DE CAPA DE RODADURA			
<b>Actividad :</b>		TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE			
<b>Cantidad :</b>		16800			
<b>Unidad :</b>		m2			
<b>Moneda :</b>		Bs			
<b>1. MATERIALES</b>					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	Cemento asfáltico	lt	3.90	15	58.515
2	Grava	m3	0.02	150	3.15
3	Arena	m3	0.01	125	0.65
<b>TOTAL DE MATERIAL</b>					62.31875
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	Peon	hr	0.20	16.00	3.20
2	Ayudante	hr	0.20	18.00	3.60
3	Capataz	hr	0.06	20.00	1.20
4	Operador equipo pesado	hr	0.02	22.00	0.44
5	Chofer	hr	0.02	18.00	0.36
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					8.8
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)				55%	4.84
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (14.94% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)				14.94%	2.04
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>					15.68
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	Planta clentadora de asfaltos	hr	0.01	350	3.5
2	Distribuidor de asfaltos	hr	0.02	200	4
3	Distribuidor de agregados	hr	0.01	240	2.4
4	Rodillo neomatico 8T	hr	0.01	250	2.5
	Compactador rodillo liso	hr	0.01	250	2.5
*	HERRAMIENTAS = (5% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)				0.78
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					15.68
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					
					<b>COSTO TOTAL</b>
*	<b>GASTOS GENERALES =10 % DE 1 + 2 + 3</b>				9.37
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					9.37
<b>5. UTILIDAD</b>					
					<b>COSTO TOTAL</b>
*	<b>UTILIDAD =10 % DE 1 + 2 + 3 + 4</b>				10.30
<b>TOTAL UTILIDAD</b>					10.30
<b>6. IMPUESTOS</b>					
					<b>COSTO TOTAL</b>
*	<b>IMPUESTOS IT = 3% DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5</b>				3.40
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>					3.40
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>					116.75
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)</b>					116.75

Tabla N° 37 Precio unitario de la imprimación reforzada

<b>Proyecto :</b>		ANALISIS Y COMPARACION DE ALTERNATIVA DE CAPA DE RODADURA			
<b>Actividad :</b>		IMPRIMACION REFORZADA			
<b>Cantidad :</b>		16800			
<b>Unidad :</b>		m2			
<b>Moneda :</b>		Bs			
<b>1. MATERIALES</b>					
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO PRODUCTIVO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	Cemento asfáltico	lt	2.15	15	32.25
2	Grava	m3	0.00	150	0
3	Arena	m3	0.01	125	0.65
<b>TOTAL DE MATERIAL</b>					32.90375
<b>2. MANO DE OBRA</b>					
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO PRODUCTIVO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	Peon	hr	0.20	16.00	3.20
2	Ayudante	hr	0.20	18.00	3.60
3	Capataz	hr	0.06	20.00	1.20
4	Operador equipo pesado	hr	0.02	22.00	0.44
5	Chofer	hr	0.02	18.00	0.36
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>					8.8
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)				55%	4.84
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (14.94% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)				14.94%	2.04
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>					15.68
<b>3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO PRODUCTIVO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
1	Planta clentadora de asfaltos	hr	0.01	350	3.5
2	Distribuidor de asfaltos	hr	0.02	200	4
3	Distribuidor de agregados	hr	0.01	240	2.4
4	Rodillo neomatico 8T	hr	0.01	250	2.5
	Compactador rodillo liso	hr	0.01	250	2.5
*	HERRAMIENTAS = (5% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)				0.78
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</b>					15.68
<b>4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					
					<b>COSTO TOTAL</b>
*	GASTOS GENERALES =10 % DE 1 + 2 + 3				6.43
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>					6.43
<b>5. UTILIDAD</b>					
					<b>COSTO TOTAL</b>
*	UTILIDAD =10 % DE 1 + 2 + 3 + 4				7.07
<b>TOTAL UTILIDAD</b>					7.07
<b>6. IMPUESTOS</b>					
					<b>COSTO TOTAL</b>
*	IMPUESTOS IT = 3% DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5				2.33
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>					2.33
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>					80.09
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)</b>					80.09

A través de los precios unitarios se puede notar que la alternativa de capa de rodadura más económica es la imprimación reforzada como se muestra en la Tabla N° 37

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

Concluido con el estudio de análisis y comparación de alternativas de capa de rodadura como tipos de mejora superficial aplicado en el tramo de la Comunidad de Obrajes se llega a las siguientes conclusiones:

- Para realizar la caracterización físico–mecánica suelo del tramo de estudio de la Comunidad de Obrajes primeramente se debe identificar los puntos de muestreo, los mismos se encuentran ubicados en las progresivas 0+000, 0+800, 0+1600, 0+2400, posteriormente se procede a la toma y extracción de muestras, donde estas son procesadas en laboratorio mediante los ensayos de granulometría, límites y clasificación, resultando el suelo según AASHTO Y SUCS un (A-4(0)), (ML) respectivamente.
- Debido a las características del suelo se realizó el dimensionamiento de los espesores del pavimento flexible de la calzada del tramo mediante el método del CBR, se obtuvo como resultado una capa base de 16,5cm y una capa de rodadura de 7.5cm, por las características del suelo no es necesario diseñar la capa sub- base, por lo que presenta un CBR mayor a 10%.
- Se debe identificar y caracterizar los bancos de material, que en este caso están ubicados en el río de la Comunidad de Obrajes y según su clasificación AASHTO Y SUCS corresponden a un suelo (A-1-a(0)), (GW) respectivamente. Los mismos que serán empleados para la ejecución de la capa base y la capa de rodadura de las mezclas asfálticas en el tramo vial en estudio.
- De acuerdo a la norma AASHTO se debe realizar el control de calidad del cemento asfáltico antes de ser utilizado, mediante los ensayos de laboratorio: viscosidad(30 a 6.000)cSt, penetración(85-100), punto de ignición > 200°C, punto de ablandamiento > 37°C y peso específico(0.95-1.005)g/cm<sup>3</sup>,se determinó que el cemento asfáltico es apto a emplearse para el diseño de la capa de rodadura del tratamiento superficial y la imprimación reforzada, debido a que cumple con los rangos especificados y mencionados en la norma indicada.

- Existen varios métodos para diseñar las dosificaciones de los tratamientos superficiales e imprimación reforzada, en este estudio solo se empleó el método de Hanson, que nos permite determinar las cantidades de agregado y asfalto por m<sup>2</sup> para cada capa de las alternativas mencionadas, las mismas son de 23.23kg de agregado y 2.80lts de cemento asfáltico por m<sup>2</sup> para los tratamientos superficiales y para la imprimación reforzada 5.23kg de agregado y 0.55 lts de cemento asfáltico por m<sup>2</sup>.
- Por otra parte se realizaron ensayos para el dimensionamiento de la capa de rodadura de tratamientos superficiales e imprimación reforzada, mediante moldes de área de 50cm\*50cm y altura 15cm, en los que se observó la variación de penetración del cemento asfáltico sobre la capa base, se pudo apreciar que existe mayor penetración en la imprimación reforzada estas son arriba de los 2cm ,y en el tratamiento superficial están por debajo de los 2cm.
- A su vez se observa que existe mayor exudación en la capa de rodadura de la imprimación reforzada que en el tratamiento superficial, por tal motivo cuando se presenta esta irregularidad es fácil solucionarla debido a que es una falla casi muy común en los asfaltaos provocados por el exceso del calor y simplemente se debe aplicar una capa delgada de arena fina para evitar la misma.
- Al tener los precios unitarios de las alternativas de capa de rodadura del tratamiento superficial y la imprimación reforzada se realizó una comparación económica de ambas, obteniendo que el tratamiento superficial tiene un costo de 116.75 Bs. por m<sup>2</sup> mientras que la imprimación reforzada tiene un costo de 80.09 Bs, que significa un 31.43% menos que el tratamiento superficial por tanto económicamente es más recomendable la última alternativa.
- También se hizo referencia a el rípiado que es una metodología de mantenimiento rápida y fácil de ejecutarla con una vida útil aproximadamente de un año, técnicamente no es la mejor alternativa debido a que en menos de un año el tramo de la calzada presenta un deterioro profundo provocando varias irregularidades como pueden ser ahuellamientos, hundimientos baches, etc. Y económicamente tampoco es la mejor alternativa ya que el costo para construirla es de 42.57 Bs por m<sup>2</sup>, y prolongando para tres años de vida el costo es 129 Bs por m<sup>2</sup>, además hay que mencionar que si se quiere construir el rípiado cada año provocará un corte de tráfico, afectando la economía de la Comunidad, en cambio la imprimación reforzada tiene un costo de 80.09 Bs. para un mínimo de tres años de vida útil.

- De lo anteriormente expuesto se llegó a la conclusión de que la mejor alternativa de capa de rodadura como tipo de mejora superficial para el tramo de la calzada de la Comunidad de Obrajes es la imprimación reforzada, debido a que económicamente tiene un menor costo ejecutarla y técnicamente es una buena opción ya que los materiales cumplen con todas las especificaciones técnicas, y nos proporciona una capa de rodadura durable, impermeable ante el agua, antideslizante, resistencia al desgaste, parecida a los tratamientos superficiales.
- Debido al estudio realizado esta alternativa será empleada como sugerencia para el mejoramiento de la calzada del tramo de la Comunidad de Obrajes, puesto que la misma cumple con todos los parámetros exigidos técnica y económicamente, siendo la alternativa que más se adecua al medio; es necesario aclarar que el estudio realizado es netamente para este tramo vial de forma particular.

## **RECOMENDACIONES**

Tomando en cuenta los métodos empleados en el diseño de tratamientos superficiales y diseño de imprimación reforzada, se puede mencionar algunas sugerencias a tomar en cuenta para obtener mejores resultados y, por ende, obtener mejores carpetas.

- El agregado para los tratamientos superficiales y para la imprimación reforzada debe ser en lo preferente de forma angulosa y de textura superficial rugosa que permitan mejores condiciones de afinidad.
- Que los agregados estén completamente limpios, en lo posible para todo tipo de carpeta o tratamiento superficial.
- Tener total cuidado en la ejecución de los ensayos de caracterización del material a manera de obtener mejores resultados.
- Cuando se presenta exudación del asfalto en la capa de rodadura se recomienda agregar una capa delgada de arena fina, esto a fin de disminuir la exudación de la capa de rodadura.
- Tomar en cuenta para la mezcla asfáltica las cantidades de asfalto, temperatura de calentamiento de agregados y asfaltos y temperatura de mezcla y compactación en situ.
- Para los tratamientos superficiales y la imprimación reforzada se recomienda realizar un control de los materiales mediante el método de la bandeja, el cual consiste en colocar una bandeja de (100 por 100) cm de base y 2cm de altura de en medio de la

calzada al momento de realizar la ejecución. Esto se lo realiza con el fin de verificar que se esté usando las cantidades correspondientes de material granular y material asfáltico.

- Para la metodología del ripiado de se tiene que realizar un control de calidad del tramo mediante ensayos de laboratorio los cuales son compactación, densidad in situ y CBR, esto se lo realiza a progresivas de 500 metros.
- No tomar en cuenta la alternativa del ripiado porque técnicamente no es la mejor opción, debido a que éste se deteriora con el tiempo, especialmente en épocas de lluvia donde ésta lo va deteriorando más y más con irregularidades que aparecen en la calzada como ahuellamientos, erosión, hundimientos.
- Tomar en cuenta el trabajo para la calzada del Tramo de la Comunidad de Obrajes como una alternativa de capa de rodadura que puede ser construida a menor costo con las mismas probabilidades de durabilidad que los tratamientos superficiales.
- Seguir mejorando este trabajo de investigación.