

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## CAPÍTULO I

### 1.1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo se refiere al estudio de la mezcla en frío llamada Micro Superficie Asfáltica, como técnica alternativa para el mantenimiento superficial de pavimentos flexibles, las micro superficies asfálticas es una técnica ampliamente utilizada en muchos países presentándose como una alternativa a las técnicas convencionales de las mezclas en caliente que se utilizan en la actualidad, el micro aglomerado en frío corrige la mayoría de las fallas de la superficie de rodadura que se presentan, por efecto de los esfuerzos con carga y sin carga durante su servicio, y además esta técnica tiene sus ventajas y mayor beneficio que las mezclas asfálticas en caliente al ser: económico, mantenimiento en menor tiempo, ambiental, alto nivel de desempeño, protege y alarga su vida útil y proporciona a la carretera mejor característica superficial y una condición como al inicio de su servicio.

Un pavimento flexible tiene un período de diseño menor con respecto a un pavimento rígido y por lo tanto requiere un mayor mantenimiento, debido a que con el paso del tiempo y a través de su uso, este pavimento sufre todo tipo de esfuerzos y degradaciones naturales que van reduciendo su eficiencia. De aquí se desprende la gran importancia de conservar el buen estado principalmente la superficie de rodamiento, del que depende el nivel de servicio de una carretera.

El mantenimiento de carreteras es una actividad de aplicación generalizada, que puede ser enfocada desde dos objetivos básicos que se resumen en:

- Prestación de servicio.
- Preservación del patrimonio.

El servicio es una característica funcional de una carretera que está asociado con la textura y la regularidad superficial del pavimento.

En nuestro país el mantenimiento periódico está dirigido a realizar reparaciones de fallas localizadas, que si solucionan las fallas y mejoran el servicio de la carretera de

forma relativa, pero no las fallas que se presentan en el pavimento luego de años de servicio y que están en mayor porcentaje en toda la carretera como ser: oxidación del asfalto, pérdida de material fino, desgaste por abrasión, pulimento de agregados; la solución a este tipo de fallas es mediante tratamientos que corrijan toda la superficie de rodamiento. Este mantenimiento superficial de una carretera, en la actualidad se realizan utilizando las mezclas convencionales, empleando más tiempo y recursos en la construcción generando: mayor costo social, mayor costo de operación a los usuarios de las carreteras, incrementando el costo total del mantenimiento.

La micro superficie es una técnica que reduce los costos de mantenimiento y se realiza en menor tiempo, con mínimos costos sociales, ambientales y de operación.

La metodología para el diseño y ensayos de la técnica está basada, en el marco de la teoría de consulta de las normas internacionales como la ASTM y ISSA de los EU, descritas en el Manual de Carreteras de la ABC v4a.

La Micro Superficie asfáltica será diseñado para el mantenimiento superficial de la Carretera al Chaco Tramo” Puente Carlaso - Puente Jarcas”, los deterioros con alta severidad y los que afectan las capas granulares no serán tratados en el trabajo, los materiales utilizados serán locales, nacionales excepto la emulsión asfáltica modificada, los ensayos de caracterización de materiales y de la mezcla se realizara en los laboratorios del “SEDECA” de la ciudad de Tarija.

Se utilizara el método Marshall Modificado para mezclas con emulsión, en la determinación del porcentaje óptimo de asfalto y los criterios de: máxima estabilidad saturada, máxima densidad, porcentaje de vacíos y fluencia saturada.

Para la comparación de la micro superficie con la técnica convencional se utilizara los datos de la tesis de “UAJMS” año 2005, titulado “Análisis y diseño de Micro pavimentos para el mantenimiento de Vías” Autor: Mohammed J. Veramendy E.

No se realizan algunos ensayos por no falta de equipos como: tiempo de apertura al tránsito, en su caso se utilizara un método convencional de obra.

## **1.2. ANTECEDENTES.**

La investigación de la técnica de micro superficies de mezclas en frío es muy reciente, se inicia en la década de 1960, durante este transcurso se continuo experimentando con emulsiones modificadas en mezclas slurry. La primera mezcla de Micro superficie fue desarrollado en Francia, a mediados de los años 70's. La compañía SCREG diseño su SEAL-GUM una Micro superficie que fue posteriormente mejorada por la firma alemana RASCHIG la cual comercializo el producto RALUMAC. Este método aun con un considerable desarrollo tecnológico, no tuvo éxito resolviendo el problema del efecto de la calidad desigual del asfalto y los agregados, afectando la correcta velocidad de rompimiento y la cohesión de la mezcla.

A principios de los años 80's el centro de investigación español ESM preparo una nueva emulsión que resolvió la mayoría de los problemas iniciales.

La Micro superficie así obtenida llamada MACROSEAL desarrollado por la firma ELSAMEX, que ha logrado gran renombre internacional y muchos países de Europa y América han aplicado este método con mucho éxito. Está técnica de mantenimiento viene siendo utilizada hace más de 40 años en países como Estados Unidos, México, entre otros, en donde ha sido considerada como una solución ideal para preservar sus carpetas, en Latinoamérica países como: Colombia, Chile, Perú y todos los países vecinos en donde la micro superficie es utilizada en la rehabilitación de pavimentos, estabilización de bases y la construcción de carpetas ; en Brasil la técnica es conocida con el nombre de lama asfáltica (DNER-ES 314/97). A partir de la década de 1990 se diferenció las micro superficies o micro aglomerados en frío como una técnica separada de las lechadas asfálticas.

En nuestro país los trabajos realizados con la técnica son escasos y recientes, entre los cuales tenemos: Tramo Carreras el Puente-Sucre, Tramo Cuchu Ingenio-Sepulturas – Potosí, Tramo Vitichi – Potosí, Tramo Camargo – Sucre, Ciudad de Guayaramerin, Tramo Falda de la Quenua- Cruce San Lorenzo – Tarija.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN.**

## **Académica**

Conocimiento de tecnologías innovadoras para el tratamiento de pavimentos flexibles, desarrollados y muy utilizados en otros países con muy buenos resultados.

Profundizar los conocimientos sobre el mantenimiento de pavimentos flexibles: metodología de diseño, elaboración de una mezcla en frío, características y propiedades de los materiales, la incidencia de los materiales en la mezcla y su comportamiento antes y luego del tendido sobre el pavimento a tratar y conocer las ventajas y beneficios con respecto a las mezclas convencionales actuales.

## **Técnica**

La Micro Superficie es una mezcla en frío de consistencia semi líquida y que se aplica sobre un pavimento en un espesor de 1 cm. corrigiendo la mayoría de las fallas superficiales de severidad baja a media que se presentan, por efecto de los esfuerzos y el medio ambiente, el micro aglomerado es una mezcla densa de alta plasticidad y muy resistente a la deformación; está compuesto de agregado triturado de alta calidad, filler, aditivo, emulsión asfáltica modificada de rotura rápida, lo que reduce el tiempo de fraguado de la micro superficie y su puesta al servicio luego de una hora de su tendido con un camión mezclador , corrigiendo toda la superficie, sellando, proporcionando una superficie antiderrapante y con características de un pavimento nuevo y mejor servicio de 4 – 8 años.

## **Social**

Reducir los costos en el mantenimiento de pavimentos flexibles como también: los costos sociales a los habitantes de las zonas, los costos de operación a los usuarios y una mínima contaminación ambiental de la zona, obteniéndose mayor beneficio social que se traduce en un ahorro y se optimizan los recursos destinados al mantenimiento de pavimentos.

## **1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.4.1. Situación Problémica.**

La situación actual de nuestras carreteras en nuestro país se encuentra en un estado de deterioro continuo y que cada vez son más exigidas debido al desarrollo del país y su aumento progresivo y acelerado de vehículos.

En nuestro país las actividades de mantenimiento y de conservación de nuestras carreteras se realiza dentro de dos categorías: el mantenimiento rutinario y el mantenimiento periódico, el mantenimiento periódico es la ejecución de una serie de actividades que se realiza, cada cierto número de años para mejorar las condiciones superficiales y de servicio. Las actividades de mantenimiento superficial utilizadas es la corrección de fallas localizadas como: bacheo, sellado de fisuras ,etc. que por lo general son utilizadas como técnicas de mantenimiento superficial , pero cuando los deterioros se encuentran en una fase temprana o con severidad media que afectan un área mayor en la carretera, es más factible realizar un mantenimiento superficial de todo el ancho de la calzada de toda la carretera que tratar cada una de la fallas, en la actualidad este mantenimiento se realiza con el recarpeteo, con mezclas asfálticas en caliente; que consiste en la aplicación de una nueva capa asfáltica de unos 3 cm de espesor; que se aplica sobre el pavimento para impermeabilizar la superficie y además proporcionar al pavimento características de un pavimento nuevo; este micro pavimento produce un aumento en la altura de la sección transversal, que en el futuro será una limitante, además tendrá un similar proceso constructivo y comportamiento al pavimento antiguo.

En la actualidad muchos países del mundo atraviesan por una temporada de crisis económica, que también afecta a nuestro país y donde los recursos económicos son limitados, y las instituciones públicas cuentan con recursos reducidos, para cumplir los requerimientos y necesidades para el mantenimiento de las carreteras, para lo cual es necesario elegir los métodos de mantenimiento a implementarse sean elegidos tomando en cuenta los dos objetivos básicos del mantenimiento: servicio y

preservación de la carretera, lógicamente a un costo menor y obteniendo mayor beneficio.

Una propuesta para solucionar las fallas que presentan los pavimentos en una fase temprana, está en utilizar técnicas asfálticas de bajo espesor, obteniendo impermeabilizar para proteger, corregir la mayoría de las fallas superficiales, y una condición superficial para un servicio eficiente. Las micro superficies asfálticas es la técnica que más sobresale dentro de los pavimentos de bajo espesor y también es la más utilizada como técnica de mantenimiento superficial por presentar ventajas técnicas, ambientales y económicas referidos a la alternativa convencional.

A pesar de que en nuestro país las lechadas asfálticas, tanto convencionales como modificadas, se vienen implementando desde 1995 (Tiquina-Copacabana-Khasani del departamento de La Paz) como técnicas de mantenimiento superficial, su proceso de diseño, sus ventajas y los beneficios son poco conocidos. Es por ello que surge la necesidad de investigar los métodos actuales en el mantenimiento de pavimentos con muy buenos resultados, en base a las experiencias de otros países, y de la misma manera nuestro país también se pueda beneficiar de las nuevas tecnologías actuales.

En el presente trabajo se desarrollara la metodología para el diseño de la micro superficie asfáltica, aplicando normativas y ensayos vigentes en las metodologías de diseño y será aplicado a una carretera en servicio y con una problemática real de nuestros pavimentos, como técnica de mantenimiento superficial para el tramo Puente Carlaso – Puente Jarcas, de la carretera al Chaco y luego se establecerá una base comparativa de las ventajas y beneficios con el método convencional de las mezclas asfálticas en caliente.

#### **1.4.2. PROBLEMA.**

¿Si se realiza el mantenimiento con micro superficies asfálticas, a una carretera de la región, podrá esta mejorar el estado superficial y que características y propiedades tendría este pavimento?

## 1.5. HIPÓTESIS.

Si la micro superficie asfáltica es la mejor alternativa, para realizar el mantenimiento superficial de un pavimento, para mejorar su estado; entonces la capa de rodadura de la carretera tendrá mejores condiciones para su servicio y además prolongara su vida útil.

### 1.5.1. Definición de Variables Independiente y Dependiente.

#### ➤ **Independientes**

##### ▪ *La técnica de las micro superficies asfálticas*

Las micro superficies asfálticas son mezclas en frío que se utiliza para mejorar el estado superficial de pavimentos desgastados y deteriorados, sin agregar aporte estructural, protegiendo toda la estructura de un pavimento de factores externos como el clima y con un mejor comportamiento al tránsito de vehículos.

##### ▪ *La técnica de micro pavimento de mezcla en caliente*

Es la aplicación de una capa de una mezcla en caliente sobre el pavimento antiguo, este micro pavimento es de bajo espesor, y tiene el objetivo de proporcionar una nueva capa de rodadura, también actúa como sello protegiendo el pavimento del clima y resistencia a los esfuerzos generados por el tránsito de vehículos y no aporta capacidad estructural.

#### ➤ **Dependiente**

*El mantenimiento superficial de pavimentos flexibles para la conservación y mejor desempeño para un mejor servicio.*



## OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

VARIABLE NOMINAL	CONCEPTUALIZACION	DIMENSION	INDICADORES	VALOR ACCION
Micro superficies asfálticas	Las Micro Superficies asfálticas son mezclas en frío que se utiliza para mejorar el estado superficial de pavimentos desgastados y deteriorado, sin agregar aporte estructural.	Ensayos de Laboratorio	Técnico	Resistencia Durabilidad Comportamiento
			Económico	Precio Unitario
		Actividades del Proceso Constructivo	Previos Apertura	Tiempo de Ejecución y costo social y de operación de los usuarios
Micro Pavimento en Caliente	Es la aplicación de una capa de una mezcla en caliente sobre el pavimento antiguo, este micro pavimento es de bajo espesor, y tiene el objetivo de proporcionar una nueva capa de rodadura, también actúa como sello protegiendo el pavimento	Datos de Laboratorio	Técnico	Resistencia Durabilidad Comportamiento
			Económico	Precio Unitario
		Actividades del Proceso Constructivo	Previos Apertura	Tiempo de Ejecución y costo social y de operación de los usuarios

## OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

VARIABLE NOMINAL	CONCEPTUALIZACION	DIMENSION	INDICADORES	VALOR ACCION
Mantenimiento Superficial de la Carretera al Chaco Tramo "Puente Carlaso – Puente Jarcas"	Actividades realizadas para reparar las fallas y mejorar el estado superficial y alargar la vida del pavimento, para un mejor servicio y preservar la carretera.	Comparación de las Técnicas de Mantenimiento Superficial de Carreteras.	Comparación Técnica y Económica Ventajas y Beneficios	Mayor Resistencia Mayor Duración Mejor desempeño
				Menor costo
				Mayores Ventajas y beneficios

## **1.6. OBJETIVOS.**

### **1.6.1. OBJETIVO GENERAL.**

Realizar el estudio de Micro superficies asfálticas, como técnica de mantenimiento superficial de pavimentos flexibles, para mejorar las condiciones de comportamiento al tránsito de vehículos.

### **1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

Los objetivos específicos que se pretende alcanzar con este trabajo, son:

- Describir los conceptos y elementos que componen un pavimento.
- Describir los tipos de mantenimiento y las alternativas en la rehabilitación de pavimentos flexibles.
- Estudiar los elementos teóricos de la técnica de micro superficies asfálticas.
- Describir el campo de aplicación y tipos de deterioros que se corrige con micro superficies asfálticas.
- Describir las características y propiedades de los materiales componentes de la micro superficie asfáltica.
- Realizar el diseño de micro superficie para el mantenimiento superficial de la Carretera al Chaco Tramo Puente Carlaso - Puente Jarcas.
- Realizar un análisis de resultados de la investigación realizada.
- Comparación técnica y económica de micro superficie asfáltica con la técnica convencional de micro pavimento en caliente.
- Establecer conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

**CAPÍTULO II**

**FUNDAMENTOS DEL  
MANTENIMIENTO DE  
PAVIMENTOS FLEXIBLES**

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTOS DEL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

#### 2.1. Definición.

El pavimento se define como “... Es la capa o conjunto de capas comprendidas entre la sub rasante y la superficie de rodamiento y cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir las a las terracerías, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en ellas”.<sup>1</sup>

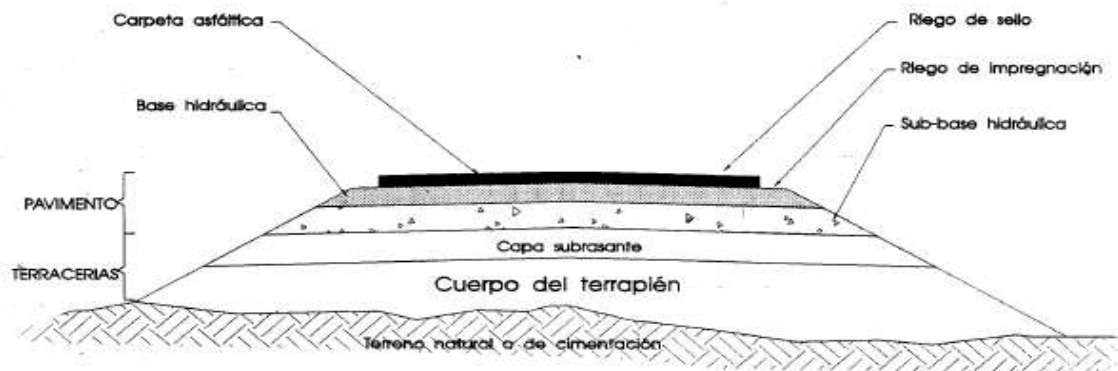
**Figura 2.1:** Pavimento Flexible de la Carretera al Chaco



Fuente: Propia.

#### 2.1.1. Componentes Estructurales de un Pavimento Flexible.

**Figura 2.2:** Sección de una carretera y sus capas granulares.



Fuente: [http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/Capitulo2\(pag.4\)](http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/Capitulo2(pag.4))

<sup>1</sup> “Normas para la construcción e instalaciones. Carreteras y autopistas”, STM, México 1983, pag.2.

Los pavimentos flexibles consisten en una serie de capas y su distribución de cargas viene determinada por las características de cada una de ellas.

#### **2.1.1.1. Terreno de Fundación.**

No constituye parte del pavimento, es el terreno de cimentación de la estructura de la vía, con el objeto de conocer las condiciones de estabilidad del mismo y así evitar problemas de deslizamiento, asentamientos, desplazamientos y otros

- **Terracería<sup>2</sup>.**

Se puede definir como la franja de terreno que es afectada por la construcción del camino y de su función es la de soportar las Cargas de la estructura del pavimento, de las terracerías y cargas del tránsito.

*Cuerpo del terraplén:* Es utilizada únicamente en porciones de camino con terraplén, su función principal es la de dar altura necesaria para alojar las obras de drenaje.

- **Sub Rasante**

*Capa sub rasante:* Tiene múltiples funciones, de recibir y resistir las cargas de tránsito transmitidas por la capa de pavimento y transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores y de forma adecuada; además: Evitar que se contaminen las capas del pavimento de material fino o arcilloso.

**Figura 2.3:** Excavación de la Sub Rasante.



FUENTE:[http://www.consorcioredterciariavsr.com.co/sistemavias/\\_lib/file/img/155/449/Fotografias/6%20Excavacion%20subrasante%20en%20K2+200.jpg](http://www.consorcioredterciariavsr.com.co/sistemavias/_lib/file/img/155/449/Fotografias/6%20Excavacion%20subrasante%20en%20K2+200.jpg)

---

<sup>2</sup> "GUÍA DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE UNA VÍA EN PAVIMENTO FLEXIBLE" GABRIEL ENRIQUE BONETT UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA ESPECIALIZACIÓN DE PAVIMENTOS BOGOTÁ D.C. SOLANO 2014

#### **2.1.1.2. Sub Base.**

La principal función de esta capa del pavimento flexible es de carácter económico. Se trata de formar el espesor requerido del pavimento con el material más económico posible. Para lo cual se diseña más delgada y sustituirse en parte por una sub rasante de menor calidad, aun cuanto esto traiga consigo un aumento en el espesor total del pavimento, cuando menor sea la calidad del material utilizado será mayor el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos el material seleccionado (A1-A2) debe ser de mayor capacidad que el terreno de fundación compactado  $CBR \geq 15\%$ ,  $LL < 35\%$  y  $LP > 6\%$ .

#### **2.1.1.3. Base.**

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores.

#### **2.1.1.4. Carpeta.**

El pavimento tiene por objetivo dotar al camino de un sistema estructuralmente resistente a las sollicitaciones que impone el tránsito, proporcionando una superficie que permita una circulación cómoda y segura a la velocidad especificada, bajo las variadas condiciones climáticas y por un periodo determinado. Su diseño consiste en determinar los tipos y espesores de las capas que resultan más económicas para lograr propósitos enunciados. Las cualidades funcionales residen fundamentalmente en su superficie, de su acabado y de los materiales empleados en la construcción, que dependen ciertos aspectos como: La adherencia del neumático a la superficie de rodadura, las proyecciones de agua en tiempo de lluvia, desgaste de los neumáticos, ruido en el exterior y el interior del vehículo, la comodidad y estabilidad en marcha, cargas dinámicas del tráfico, resistencia a la rodadura y las propiedades ópticas.

## **2.2. Tipología de Carpetas Asfálticas:**

Existen diferentes tipos de carpetas asfálticas, los más comunes son los siguientes:

### **Macadam Asfáltico.**

Es el tipo más antiguo de los pavimentos para carreteras actualmente en uso. El macadam asfáltico, por penetración consiste en una base o una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño en las que los fragmentos están ligados con asfaltos. Se emplea como capa superficial para caminos de tránsito medio a pesado, pero para caminos de tránsito pesado ha sido sustituido por el concreto asfáltico emulsionado o uno de los grados más pesados de los alquitranes para caminos.

### **Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC):**

Es la mezcla de agregados pétreos con aglomerantes bituminosos, materiales que deben cumplir con los requisitos especificados, los cuales mezclados mediante procedimientos controlados en caliente, darán como resultado un material con propiedades y características definidas.

### **Mezcla Asfáltica en Frío (MAF):**

Es la combinación de agregados y un ligante bituminoso que puede mezclarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. En algunas ocasiones el agregado puede llegar a calentarse ligeramente.

Estas mezclas emplean en su fabricación ligantes bituminosos con menor viscosidad que las mezclas en caliente, asfaltos fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas. El mezclado se puede efectuar “In Situ” o en plantas mezcladoras en fijo.

Los tipos de mezclas en frío son:

- Mezclas abiertas
- Mezclas densas
- Grava-emulsión
- Suelo emulsión
- Micro aglomerado en frío

### **Tratamientos Superficiales:**

Es un término que cubre generalmente todas las aplicaciones de asfalto, con o sin agregados a cualquier tipo de camino o superficie de pavimentos, pero cuyo espesor final es por lo general inferior a 25 mm (una pulgada).

Los tratamientos superficiales varían desde una simple y ligera aplicación de cemento asfáltico, sobre los cuales distribuyen agregados pétreos. Todos los tratamientos superficiales sellan y prolongan la vida de los caminos, teniendo cada uno o más propósitos especiales. De acuerdo a la aplicación o preparación la siguiente es una ampliación de los tratamientos superficiales.

- Tratamiento superficial simple y múltiple
- Tratamiento superficial con aplicación única de asfalto
- Riego de imprimación
- Riego anti polvo
- Lechadas asfálticas

### **2.3. Construcción de la Carpeta Asfáltica.**

La construcción del pavimento asfáltico se inicia con la preparación de la mezcla asfáltica, labor que se realiza en la planta de mezclas, donde existen todos los sistemas adecuados para el control del proceso. Las mezclas se fabrican en plantas continuas o discontinuas. Los agregados para la mezcla son secados y calentados a la temperatura específica antes de llevarlos al mezclador, después de calentar los agregados se tamiza en 3 o 4 fracciones, se almacena en tolvas separadas. Su suministro a la mezcla es continuo y a temperatura uniforme. La mezcla sale de planta con temperatura entre 130 y 165°C. Los porcentajes de asfalto para bases asfálticas de refuerzo de pavimentos existentes están entre 2.7 y 3.0% por peso de la mezcla total. Las de bases para pavimentos nuevos pueden estar entre 3.7 y 4.3%.



### **2.3.1. Imprimación.**

La imprimación es la aplicación de riego de asfalto diluido de curado medio, o de asfalto emulsificado, sobre una capa de material sin tratar. Cuando se utiliza un asfalto emulsificado, éste debe ser mezclado con el de base usando equipo o un mezclador

**Figura 2.4:** La Imprimación.



Fuente:<http://www.constructorabuenosaires.com/pavimento/pavimento-flexible.html>

Un riego de imprimación sirve para tres propósitos: Previene de que se desarrolle un plano de deslizamiento entre base y la capa superficial, Evita que el material de base se desplace bajo las cargas de tránsito en la construcción antes de que la primera capa sea colocada, Protege la capa de base de la intemperie. Para esparcir estos riegos se emplea un equipo distribuidor.

### **2.3.2. Refuerzo de Mezcla en Caliente.**

En el caso de una capa de concreto asfáltico colocada sobre un pavimento existente se denomina refuerzo de mezcla en caliente. Un refuerzo está diseñado para rehabilitar y reforzar un pavimento viejo, extiende su vida útil y corrige irregularidades superficiales: baches, secciones inestables, se limpian las depresiones y rellenan con material nuevo, nivelar juntas desniveladas, sellado de grietas y cuando la superficie está deformada se requiere la construcción de capas nivelantes para establecer de nuevo la rasante y también una correcta sección transversal

### 2.3.3. Riego de Liga.

El riego de liga consiste en aplicaciones de emulsiones rociadas sobre la superficie de un pavimento existente, antes de colocar la capa de refuerzo. El propósito de un riego de liga es mejorar la ligazón entre las capas nuevas y viejas. Los riegos de liga son usados en lugares donde la mezcla entra en contacto con la cara vertical de las aceras, las cunetas y las estructuras y juntas de pavimento frío. La cantidad de riego de liga depende del tipo de emulsión utilizada. Si la aplicación es muy poca no habrá ligazón y demasiada emulsión puede causar exudación disminuyendo la estabilidad de la mezcla.

### 2.3.4. Pavimentación.

La pavimentación incluye el transporte de la mezcla asfáltica a la obra, la colocación de la mezcla sobre la vía y compactación de la mezcla a la densidad de referencia. La uniformidad en las operaciones es importante en esta actividad. Los equipos son: barredora y sopladora mecánicas, equipo de calentamiento y distribuidor de asfalto, pavimentadora, cilindro metálico, compactador de llanta y vehículos de transporte.

**Figura 2.5:** Maquina de Pavimentación.



Fuente.: <http://ku0bl7d.preview.sasites.com.mx/img/upload/foto-pao-2-pavimentos-asfalticos-angelopolitanos-sa-de-cv.jpg>

La pavimentadora es una máquina automática diseñada para colocar mezcla asfáltica con un espesor determinado, y para proporcionar una compactación inicial de la carpeta. La máquina pavimentadora extiende y conforma la mezcla de acuerdo a las alineaciones, espesores y anchos señalados en los diseños.

### 2.3.5. La Compactación.

La compactación debe alcanzar una densidad equivalente al 96% de densidad de la referencia, que es la correspondiente a briquetas elaboradas en laboratorio. Se utilizan compactadoras automotrices de los siguientes tipos:

- **Compactadoras tándem de ruedas de acero:** Tienen dos ruedas de acero sobre ejes paralelos. Su peso varía entre 3 y 14 toneladas y a veces más.
- **Compactadores de ruedas neumáticas:** Tiene ruedas de caucho generalmente en dos ejes tándem con 3 ó 4 ruedas en el eje delantero y 4 ó 5 ruedas en el trasero. Las ruedas tienen diámetros entre 38 y 61 cm y deben ser lisas e infladas uniformemente con una variación de presión máxima de 35 Kpa.
- **Compactadoras vibratorias:** Proporcionan la fuerza con una combinación de peso y vibración de sus rodillos, llamados tambores. Su peso varía entre 7 y 17 toneladas. Su diámetro varía entre 0.9 y 1.5 m, y el ancho entre 1.2 y 2.4m.

**Figura 2.6:** Compactación de la Carpeta Asfáltica.



Fuente: <http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2011/08/1.jpg>

### 2.4. Evaluación de Pavimentos.

La evaluación de pavimentos es el sistema que se enfoca tanto al estado superficial de un pavimento como al desempeño de su estructura, con base en la medición de una serie de parámetros, y los resultados están en función del nivel de deterioro que presenta.

Componentes de la evaluación de pavimentos:

- a. Evaluación Estructural (No será tratado en este trabajo)
- b. Evaluación Visual o Superficial

#### **2.4.1. Evaluación Superficial**

La evaluación superficial refleja el estado del pavimento por sus características superficiales, presentes en el momento de la evaluación.

Estos dos componentes de evaluación se complementan mutuamente, para obtener resultados, aplicables a la planificación de obras de mantenimiento, proyectos de mejoramiento, elección de técnicas de reparación, control de calidad de mantenimiento, y verificación de la capacidad portante de la estructura.

El método de evaluación establecido por la norma ASTM 5340 – 93 permite determinar la condición de los pavimentos de aeropuertos a través de un relevamiento visual, siendo aplicable a pavimentos asfálticos. Los métodos de la evaluación superficial son:

- **Evaluación Visual del Índice de Condición del Pavimento (PCI)**
- **Evaluación de la Capacidad Funcional del Pavimento** (No se realizara en este trabajo)

Medición del Índice de Rugosidad Internacional – IRI

Coefficiente de Fricción-CF

#### **2.4.2. Procedimiento Previo para la Evaluación de Pavimentos.**

La recolección de Información de un pavimento es el procedimiento para decidir sobre la metodología de investigación utilizada en un proyecto en particular, donde se realiza un análisis de toda la información disponible como: El diseño del pavimento original, espesores de capas, cambios en los diseños especificados, los resultados del control de calidad desarrollados durante la construcción, calidad de materiales disponibles, planimetría, niveles finales del pavimento, detalles del sistema pluvial, cotas, secciones, cuencas y la información disponible sobre el tráfico .

#### **2.4.3. Evaluación del Pavimento Método PCI.**

El método se basa en la determinación del índice de Condición del Pavimento (PCI), que resulta ser un indicador numérico que califica la condición superficial del pavimento y le proporciona un valor de su estado actual sobre la base de las fallas y deterioros observados en la superficie. El PCI establece una clasificación numérica de la condición del pavimento, que puede variar entre 0 (cero) y 100 (cien), correspondiendo cero a la peor condición y cien a la mejor. Los rangos de clasificación para el PCI se muestran en la Tabla 2.1

**Tabla 2.1:** Parámetros del Índice de Condición del Pavimento.

Índice de condición del pavimento (PCI)	Rating de condición del pavimento
0 < PCI < 10	FALLADO
10 < PCI < 25	MUY POBRE
25 < PCI < 40	POBRE
40 < PCI < 55	REGULAR
55 < PCI < 70	BUENO
70 < PCI < 85	MUY BUENO
85 < PCI < 100	EXCELENTE

Fuente: Pavement management for Airports, roads and parking lots M.Y. Shahin 1994

El PCI fue desarrollado para proporcionar un índice de la integridad estructural del pavimento y condición operacional de la superficie. La información de anomalías obtenida como la parte del estudio de la condición de PCI proporciona una visión de las causas de anomalía, y si es relativo a la carga o al clima.

Para determinar el PCI de una sección de pavimento, primero se divide la sección en unidades de inspección, llamadas “Unidades de Prueba”.

#### **2.4.3.1. División del Pavimento en Unidades de Prueba<sup>3</sup>.**

Una unidad de prueba es convenientemente definida como una porción de una sección de pavimento designada solo con los propósitos de la inspección del pavimento. Para caminos sin pavimento y para caminos recubiertos de asfalto (incluidos asfalto sobre concreto), una unidad de prueba está definida como un área de  $2500 \pm 1000$  pies<sup>2</sup> ( $232 \pm 93$  m<sup>2</sup>).

#### **2.4.3.2. Determinación de Unidades de Prueba a Ser Inspeccionadas.**

<sup>3</sup> “PAVIMENTOS” Texto Guía. U. M. S. S. FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA Cochabamba-Bolivia 2004

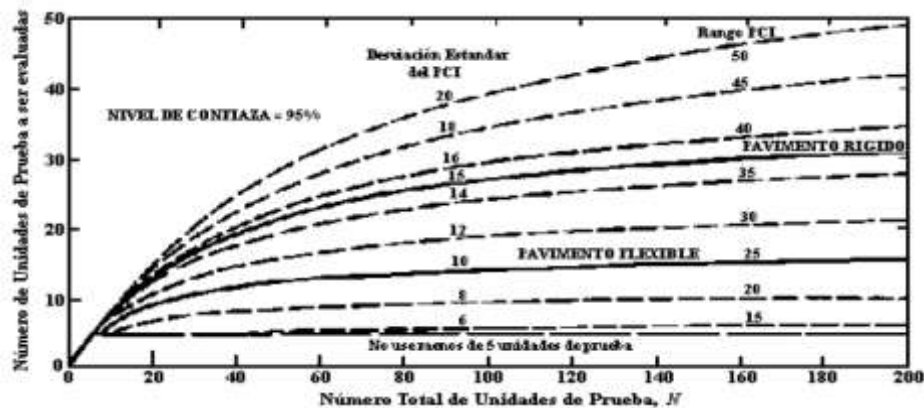
Para limitar la cantidad de recursos requeridos para la inspección, se ha desarrollado una aproximación razonable del PCI, estimando por inspección solo un número limitado de unidades de prueba. Si el objetivo es tomar decisiones de nivel de red entonces un estudio de un número limitado de unidades de prueba por la sección es suficiente. Si el objetivo es evaluar las secciones específicas del pavimento al nivel de proyecto, se requiere un grado mayor de muestreo para una sección.

### 2.4.3.3. Determinación del Número de Unidades de Prueba.

Para determinar el número mínimo de unidades de prueba ( $n$ ) que serán evaluadas y obtener una adecuada estimación del PCI de la sección a nivel de proyecto.

Este número se determina usando las curvas de la Graf. 2.2 Usando este número, se obtendrá una estimación razonable del PCI verdadero de la sección. El 95% de los casos, el valor estimado está dentro de  $\pm 5$  puntos del PCI verdadero.

**Gráfica. 2.1:** Selección del Número Mínimo de Unidades de Prueba.



Fuente: Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots, M. Y. Shahin, 1994

Las curvas en la Gráfica 2.2 pueden usarse basadas en la desviación estándar de PCI entre las unidades de prueba, o rango de PCI (es decir, el PCI de la unidad de prueba más baja se dedujo del PCI de la unidad de prueba más alta). Al realizar la inspección inicial, la desviación estándar del PCI para una sección del pavimento se asume como 10 para pavimentos superficiales de concreto asfáltico (AC). Como la gráfica 2.2 muestra, cuando el número total de pruebas dentro de una sección es menos de cinco, se recomienda que todas las unidades de prueba se inspeccionen.

### 2.4.3.4. Selección de Unidades de Prueba para Inspeccionar.

Es recomendable que las unidades de prueba a ser inspeccionadas estén espaciadas a iguales intervalos a lo largo de la sección; y que el primero sea elegido de forma aleatoria. El intervalo de muestreo ( $i$ ) es determinado por:

$$i = \frac{N}{n}$$

Dónde:

$N$  = al número total de unidades de prueba disponibles.

$n$  = número mínimo de unidades de prueba a ser examinados.

Una unidad de prueba es inspeccionada por medición del tipo de anomalía y la severidad de acuerdo al manual PCI, y se anotan los datos en una hoja de Registro de Evaluación de Condiciones. Todas las anomalías son usadas para computar el PCI de una unidad de prueba.

#### **2.4.3.5. Cálculo del PCI de una Unidad de Prueba.**

Cuando la evaluación de condiciones se ha completado para cada unidad de prueba elegida, los resultados son usados para hallar el PCI. El cálculo del PCI está basado en valores deducidos indicados para cada anomalía. El cálculo de PCI está basado en los factores deducidos de los valores de peso que de 0 a 100 indican el impacto que cada anomalía tiene en la condición del pavimento. Un valor deducido de 0 indica que un anomalía no tiene efecto en el rendimiento del pavimento; de esa manera, un valor de 100 indica un anomalía sumamente seria.

El procedimiento de desarrollo de la evaluación es el siguiente:

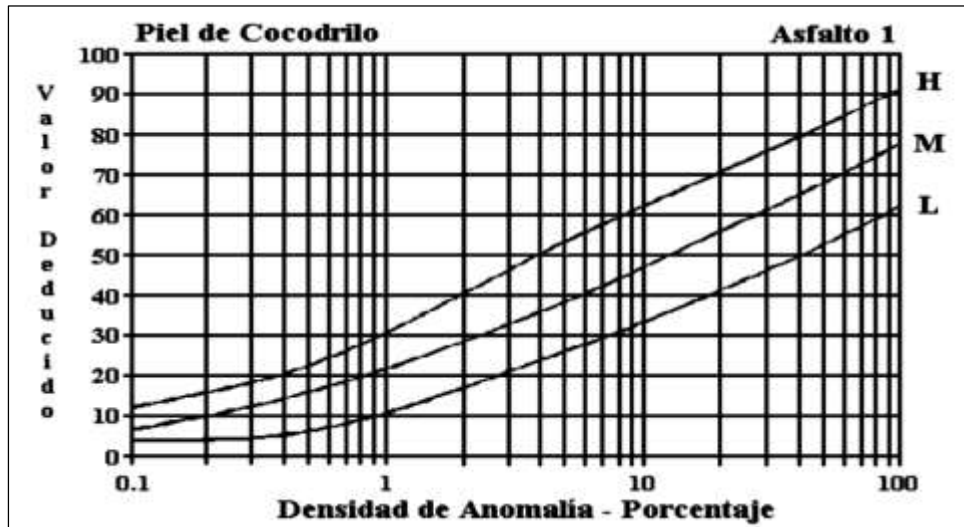
##### **Paso 1: Determinación de los Valores Deducidos**

**1.a.-** Sumar los totales para cada tipo de anomalía en cada nivel de severidad, y registrarlas bajo la columna “Total” en el formulario de evaluación. Las cantidades de la anomalía pueden ser medidas en ( $m^2$ ), ( $m$ ), o cualquier otra unidad de medida, dependiendo el tipo de anomalía.

**1.b.-** Dividir la cantidad de cada tipo de anomalía en cada nivel de severidad por el área total de la unidad de prueba, entonces multiplicar por 100 para obtener el porcentaje la densidad por unidad de prueba para cada tipo de anomalía y severidad.

1.c.- Determinar el “Valor Deducido” para cada tipo de anomalía y nivel de severidad de la curva de valores deducidos. La Grafica 2.3 es un ejemplo de la Curva con Valor Deducido de la anomalía del tipo Asfalto 1, “Piel de Cocodrilo”, para los pavimentos de caminos. Las curvas con valores deducidos para todas las anomalías se encuentran en el *Anexo I*.

**Grafica 2.2:** Curva Deducida de Pavimento para Anomalía de Piel de Cocodrilo.



Fuente: Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots, M.Y. Shahin, 1994

**Paso 2: Determinación del Número Máximo Aceptable de Dedución ( $m$ ).**

2.a.- Si sólo un valor deducido (o ninguno) es  $>2$ , el valor total deducido se usa en lugar del valor máximo de CDV en el paso 4; de otra forma, los pasos 2b y 2c.

2.b.- Enlistar los “Valores Deducidos Individuales” en orden descendente.

2.c.- El “Número Aceptable de Deduciones”,  $m$ , usando la siguiente ecuación:

$$m_i = 1 + \frac{9}{98} * (100 - HDV_i)$$

Dónde:

$m_i$ : número aceptable de deducciones, con fracciones, para la unidad de prueba  $i$ .

$HDV_i$ : valor deducido individual más alto para la unidad de prueba  $i$ .

2.d.- El número de valores deducidos individuales es reducido a  $m$ , incluyendo la parte fraccionada. Si menos que  $m$  valores deducidos están disponibles, entonces todos los valores deducidos son usados.



### Paso 3: Determinación del Valor Deducido Máximo Compensado (CDV).

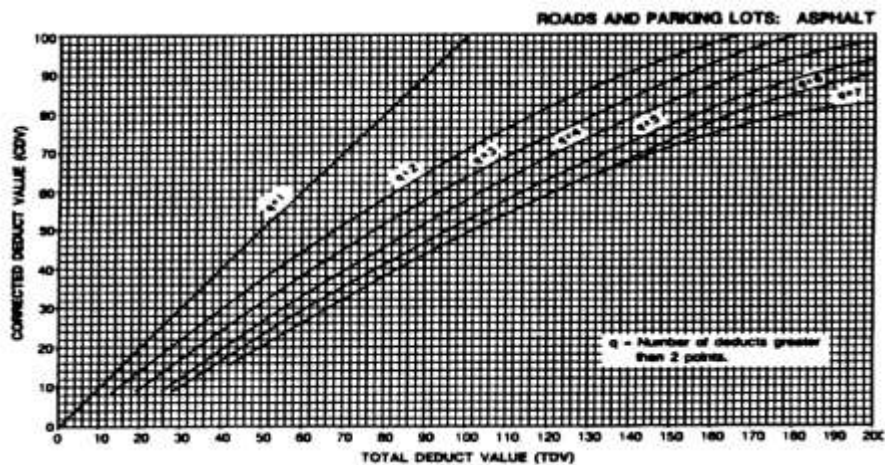
El CDV máximo es determinado de forma iterativa, como sigue:

**3.a.-** Determinar el número de deducciones con un valor  $>2$ , que será igual a “ $q$ ”.

**3.b.-** “Valor Deducido Total”, es la suma de todos los valores deducidos individuales.

**3.c.-** Determinar el Valor Deducido Corregido (CDV) de “ $q$ ” y el valor total deducido por observación de la curva de corrección apropiada. La Grafica 2.4 muestra la curva de corrección para pavimentos de caminos de concreto asfáltico (AC).

**Grafica 2.3:** Curvas de Corrección para Pavimentos de Concreto Asfáltico.



Fuente: Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots, M.Y. Shahin, 1994

**3.d.-** Para caminos, reducir hasta 2 el valor deducido individual, comenzando por el más pequeño que sea  $> 2$ , hasta un valor menor al valor deducido máximo. Repetir estos pasos 3.a, 3.b, 3.c; hasta  $q = 1$ .

**3.e.-** El máximo CDV es el valor más grande de CDV's determinados.

### Paso 4: Cálculo del PCI

El PCI se calcula sustrayendo de 100 el valor máximo de CDV.

#### 2.4.3.6. Cálculo del PCI para una Sección.

Si todas las unidades de prueba en la sección son evaluadas, el PCI de la sección es calculada como la media de los PCI's de todas las unidades de prueba. Si todas las unidades de prueba evaluadas son seleccionadas usando en sistema aleatorio o en base al más representativo de la sección, el PCI de la sección es determinado por la media de los PCI's de la unidad de prueba inspeccionada.

Si alguna unidad de prueba adicional es inspeccionada, una media ponderada debe ser usada. La media ponderada es computada usando la siguiente ecuación:

$$PCI_s = \frac{(N - A) * PCI_r + A * PCI_a}{N}$$

Dónde:

*PCI<sub>s</sub>* = PCI de la sección pavimentada

*PCI<sub>r</sub>* = PCI medio de las muestras aleatorias (o representativas)

*PCI<sub>a</sub>* = PCI medio de las muestras adicionales

*N* = número total de muestras en la sección

*A* = número total de muestras adicionales inspeccionadas

#### **2.4.4. Concepto de Deterioro y Falla.**

Durante la vida útil de un pavimento se van presentando distintos tipos de patologías y grados de deterioro en un pavimento, debido a múltiples causas, principalmente a la acción del tránsito y a las condiciones climáticas entre otros.<sup>4</sup>

**Deterioro.** Es la disminución de la vida útil de la carretera, por razones de uso y ambientales. Con el paso del tiempo, los efectos ambientales y el uso de la carretera se presenten deformaciones, desgastes, además son inevitables; y generalmente se presentan en la superficie de rodamiento (*deterioros superficiales*) si se efectúa un mantenimiento se evita que este deterioro se convierta en falla.

**Falla.** Pérdida de la capacidad operativa del pavimento. Se trata de una discontinuidad en el material originado por las fuerzas que actúan sobre él y que logran superar la resistencia del mismo. Existe una rotura no superficial en el material y su conservación es mayor. Estos no solo se presentan en la superficie de rodamiento sino también en las diferentes capas que forman la carretera (*deterioros estructurales*). Los deterioros se clasifican de acuerdo al Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles de Carreteras Mexicanas publicado, por el Instituto Mexicano del Transporte en 1991 (No 21), en tres grupos.

##### **2.4.4.1. Tipos de Deterioros**

---

<sup>4</sup> SISTEMA DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS VERSIÓN 2.0 Publicación N° 245 Méjico- 2004 Módulo Acciones de Conservación

Los principales deterioros agrupados son los siguientes:

***Por Desprendimiento:***

- Indentación de objetos duros en la superficie de rodamiento
- Levantamiento por congelamiento
- Desprendimiento de agregados
- Pulido de superficie
- Desintegración de la capa de rodadura
- Exudación de asfalto

***Por Deformaciones:***

- Burbuja
- Roderas o canalizaciones
- Ondulaciones transversales o corrugaciones
- Protuberancias
- Defectos constructivos
- Crestas longitudinales masivas
- Desplazamiento transversal de la sección del pavimento

***Por Tipo o Grupo de Agrietamiento:***

- Fisuras
- Agrietamiento piel de cocodrilo
- Agrietamiento tipo mapa
- Grieta transversal
- Grieta longitudinal

Las definiciones específicas de los deterioros, así como las causas probables que los provocan vienen detalladas en la publicación citada (ANEXO I), en la cual adicionalmente se incluyen fotografías que permiten distinguirlos con claridad.

## **2.5. Mantenimiento de Pavimentos Flexibles.**

La vida de un pavimento comienza en el momento que finaliza su construcción, y esta inicia con un deterioro continuo y permanente, producido por la acción del tráfico y de la intemperie. Por ello es necesario conservarlos con el fin de que permanezcan seguras, cómodas y durables para los usuarios.

Toda obra vial tiene como objetivos principales:

- Proporcionar seguridad con adecuada resistencia al deslizamiento.
- Contar con una superficie con regularidad acorde a las velocidades de circulación.
- Contar con suficiente resistencia estructural.

La conservación de pavimentos es un conjunto de actividades orientadas a brindar, mantener, retardar el deterioro del pavimento usando tratamientos de bajo costo, y extender su vida útil mejorando así su desempeño.<sup>5</sup>

### **2.5.1. Tipos de Mantenimiento.**

#### **2.5.1.1. Conservación Rutinaria.**

Actividades que se realizan de manera continua durante todos los años para seguridad de los usuarios, y funcionalidad hidráulica de la carretera, como son: el bacheo aislado, la limpieza y desazolve de cunetas, chapeo del derecho de vía, limpieza y reposición de señales, repintado de marcas, y limpieza de alcantarillas.

#### **2.5.1.2. Conservación Periódica.**

Acciones planeadas y previstas cada determinado tiempo, para proteger la estructura, y la calidad de rodamiento. Las acciones son: tratamientos superficiales, micro carpetas, sobre carpetas, recuperación en caliente, fresado superficial, texturización.

#### **2.5.1.3. La Reconstrucción.**

Es la construcción parcial o total de la sección estructural del pavimento, para proveer la capacidad estructural adecuada para resistir, sin modificar la sección transversal. Las actividades son el White-topping, recuperación, modificación de materiales, estabilización, la transformación en concreto compactado, etc.

---

<sup>5</sup> Tesis (CRISTIAN FRANCISCO CASTILLO CONTRERAS) FORMULACIÓN DE UNA METODOLOGÍA GENERAL PARA LA ELECCIÓN DE PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS VIALES” UNIVERSIDAD DE CHILE

#### **2.5.1.4. Conservación Preventiva.**

Actividades de mantenimiento para prevenir las fallas con tratamientos aplicados a la superficie de pavimentos existentes con capacidad estructural suficiente, para mantener su estructura y prolongar su vida útil sin incrementar su valor estructural. Con actividades como: Lechada Asfáltica, Tratamientos Superficiales, Micro-Superficies sobre capas asfálticas.

### **2.6. Actividades para el Mantenimiento de Pavimentos Flexibles.**

#### **2.6.1. Bacheo de Caja.**

Es la principal actividad del mantenimiento rutinario y se ejecuta en carreteras, calles y caminos vecinales, y consiste en reparar los hoyos que aparecen en las vías.

**Figura 2.7:** Actividad de Bacheo.



Fuente: <http://e-tlaxcala.mx/sites/default/files/CIMG1710.JPG>

#### **2.6.2. Tratamiento Superficial.**

**Figura 2.8:** Tratamiento Superficial.



Fuente: <https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=1473898879267526>

### 2.6.2.1. Tratamiento Asfáltico.

**El Tratamiento Asfáltico** de superficie, como un término amplio que engloba varios tipos de aplicaciones con asfalto y asfalto – agregado, usualmente de menos de 25 mm de espesor y aplicado a cualquier tipo de superficie de pavimento.

### 2.6.2.2. Tratamiento Superficial Simple.

**Tratamiento Superficial Simple** (Chip Seal), implica el riego con emulsión asfáltica y el inmediato extendido y rodillado de una fina capa de agregado. En tratamientos superficiales múltiples, el proceso se repite para una segunda o una tercera vez con el tamaño del agregado decreciendo en cada aplicación.

**El Sellado Doble** (Sándwich Seal), es una técnica relativamente nueva, en la cual se coloca primeramente un agregado de gran tamaño, luego se riega con la emulsión asfáltica (normalmente modificada con polímeros) e inmediatamente se aplica un agregado de menor tamaño que cierra el sellado.

### 2.6.3. Slurry Seal:

Un “**Cape Seal**” es un tratamiento superficial simple, seguido de una lechada asfáltica (Slurry Seal) o de un Micro – Aglomerado (Micro - Surfacing), para así llenar los vacíos dejados entre los agregados de gran tamaño.

**El Riego de Sello** consiste en colocar una película de asfalto (emulsión) y encima de ella una capa de material graduado. Se utiliza para sellado de grietas, cuando aparece agrietamiento generalizado, malla de gallinero o piel de cocodrilo; problemas de pulimento en la superficie, o en zonas con asfalto llorado.

**Figura 2.9:** Riego de Sello.



Fuente: <https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=imgres&cd=1473898843335864>

**La Micro Superficie** es una mezcla en frío, con grado de densidad y de rápida aplicación como una capa superior sobre el asfalto para prolongar su vida útil. Está diseñado para ser aplicado en condición semi-liquida, en una máquina de pavimentar.

**Una Lechada Asfáltica** (Slurry Seal), es una mezcla de agregado de granulometría cerrada, emulsión asfáltica, fillers, aditivos y agua. La lechada asfáltica es aplicada como un tratamiento de superficie de poco espesor, con una máquina especialmente diseñada. El objetivo es mejorar la textura de la superficie y el índice de fricción.

#### **2.6.4. Micro Carpeta.**

**Las Carpetas** a base de riegos son superficies asfálticas de espesor no mayor a 3 cm que alcanzan este grosor mediante la aplicación de uno o más riegos, y colocando material graduado de diferentes tamaños.

**La Sobre Carpeta** tendida sobre la superficie de rodamiento, y elaborada con mezclas bien diseñadas de concreto asfáltico en frío o en caliente, tiene por objeto principal reforzar estructuralmente la sección del pavimento.

#### **2.6.5. Re nivelación de la Superficie de Rodamiento.**

La re nivelación es el tendido de una capa de mezcla asfáltica cuyo espesor varía a lo largo del tramo, aunque se considera que no debe ser superior a los 3 cm. Esta solución se adopta en problemas de deformaciones longitudinales y/o transversales, siempre y cuando las capas inferiores cuenten con una capacidad estructural adecuada, y si hay carpetas, estas no presentan agrietamiento.

#### **2.6.6. Sobre Carpeta para Rigidización o Refuerzo.**

La sobre carpeta tendida sobre la superficie de rodamiento, con mezclas diseñadas de concreto asfáltico en frío o en caliente, tiene por objeto reforzar estructuralmente la sección del pavimento. Esta acción comúnmente toma la decisión de ejecutarla en períodos cada 5, 7 o 10 años, con el fin de prolongar la vida útil de todo el pavimento.

#### **2.6.7. Recuperación Parcial o Total del Pavimento.**

**La Recuperación** de pavimento consiste en el levantado de parte o de toda la sección estructural del pavimento, pudiendo si es el caso, llegar hasta la sub rasante, para nuevamente tender y compactar cada una de las capas con el material recuperado y estabilizado con cal, cemento hidráulico o asfalto.

## 2.7. MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS CON MICRO SUPERFICIES.

### Reseña Histórica.

La primera Micro superficie fue desarrollado en Francia, a mediados de los años 70's. La compañía SCREG diseño su SEAL-GUM una Micro superficie que fue posteriormente mejorado por una firma alemana RASCHIG la cual comercializo el producto RALUMAC.

Este método aun con un considerable desarrollo internacional, sin embargo no tuvo éxito resolviendo el problema del efecto de la calidad desigual del asfalto y los agregados, afectando la correcta velocidad de rompimiento y la cohesión de la mezcla. A principio de los años 80's el centro de investigación de España ESM diseño una nueva emulsión que resolvió la mayoría de los problemas iniciales.

La Micro superficie obtenida se la llamo MACROSEAL y fue desarrollado por la firma ELSAMEX, obteniendo un gran renombre internacional y muchos países de Europa y América han adoptado y aplicado este método con mucho éxito.

Los tratamientos superficiales con lechadas asfálticas conocidos como Slurry Surfacing son el resultado de aplicar agregado graduado, emulsión asfáltica, filler y agua junto a varios aditivos para fabricar un material de mezcla en frío que cure rápidamente.

"Lechada" en si mismo es un término reológico que significa totalmente dispersó. Las Lechadas son métodos comunes para movilizar materiales sólidos.

De manera que los tratamientos superficiales con lechada son una mezcla de agregados y asfalto aplicado en un estado de lechada física.

El tratamiento superficial de pavimentos con micro superficies asfálticas o Micro aglomerado, en la actualidad esta técnica es utilizada en muchos países en gran medida como: E.U.A., México, Canadá y Australia; en la conservación de carreteras, pistas de aterrizaje de los aeropuertos y vías asfaltadas de zonas urbanas.

**Tabla 2.2.** Desarrollo de las Lechadas Asfálticas y Países que las Desarrollaron.

GENERACION	PERIODO	CARACTERISTICAS
------------	---------	-----------------



1ra	1920 Alemania (Schlame) 1960-1965 España y Francia	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agregados muy finos (2-3 mm)</li> <li>✓ Emulsión anicónica de rompimiento lento.</li> <li>✓ Utilizado como impermeabilizante</li> <li>✓ Mejorar la micro textura.</li> </ul>
2a	1965- 1978 España y Alemania	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tamaño máximo de agregado: 4-6 mm.</li> <li>✓ Emulsión Catiónica de rompimiento controlado.</li> <li>✓ Aditivos del control de rompimiento.</li> <li>✓ Apertura al tráfico en 30 min.</li> <li>✓ Utilizado como sello y impermeabilizante para el mantenimiento de vías urbanas.</li> </ul>
3ra	1978 Francia (SEAL-GUM) 1979 Alemania(RALUMAC) 1982 España(MACROSEAL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tamaño máximo de agregado: 12 mm.</li> <li>✓ Agregado de roca triturada 100%.</li> <li>✓ Emulsión asfáltica modificada con polímeros.</li> <li>✓ Mejora la susceptibilidad térmica.</li> <li>✓ Mejor resistencia a la abrasión.</li> </ul>
4a	1988 España y Francia	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Francia: 0,1-0,2% de fibra, utilizada para aumentar la fricción en la reparación de fisuras clasificadas.</li> <li>✓ España: 0,5- 1,0 % de fibra utilizada para mejorar la flexibilidad de la carpeta y aumentar la resistencia a los esfuerzos a tensión.</li> </ul>

Las micro superficies es esparcida sobre pavimentos nuevos o semi nuevos como un procedimiento preventivo de fallas, en pavimentos envejecidos, oxidados, desgastados; para restituir las características superficiales de la capa de rodadura, sellar grietas y sustituir la pérdida de agregados, pero no se utiliza para resolver problemas estructurales.

En la Micro superficie los agregados pétreos conforman el esqueleto mineral que da el espesor de la capa construida (tamaño máximo del agregado) siendo el “mástic” conformado por la mezcla de filler y asfalto, proporcionando la cohesión necesaria a la estructura asfáltica.

**Figura 2.10:** Corrección Superficial de un Pavimento con Micro Superficies.



La fabricación del micro aglomerado se realiza en forma manual, en bateas o carretillas para su aplicación en superficies pequeñas, pero para áreas mayores de aplicación se utiliza un mezclador y aplicador mecánico montado sobre un vehículo, que fabrica la mezcla del micro aglomerado y la distribuye sobre la superficie del pavimento a ser tratado.

### 2.7.1. Definición<sup>6</sup>.

Las micro superficies son sellos asfálticos tipo slurry seal con propiedades reo lógicas mejoradas a través de incorporación (vía emulsión) de un látex sintético tipo SBR (Estireno-Butadieno-Rubbers), el cual mejora las propiedades del asfalto en la mezcla como son: la resistencia a la fatiga y a la deformación permanente; además mejorar el desempeño a altas temperaturas, no se reblandece ni fractura a bajas temperaturas y reduce significativamente los costos de mantenimiento debido a su mayor durabilidad. Las Micro-superficies Asfálticas son mezclas en frío cuyos principales componentes son: la arena residuo de trituración, las emulsiones asfálticas, la llenante mineral, los aditivos y el agua. Las micro superficies se caracterizan por ser mezclas ricas en asfalto, lo que les da la propiedad de comportarse como impermeabilizante y además, ofrecen la protección al efecto de los rayos solares.

Se construyen sobre la superficie de una carpeta asfáltica, mediante el tendido de una mezcla elaborada en frío, con materiales pétreos de granulometría fina y cemento

<sup>6</sup> Order URL: <http://worldcat.org/isbn/9589602754>

asfáltico modificado en la emulsión, con el objeto de restablecer o mejorar las características de resistencia al derrapamiento y la seguridad, así como corregir desprendimientos menores. Por lo general, son capas de rodadura delgadas del orden de un (1) centímetro de espesor, por lo que no tiene función estructural.

Es un tratamiento de espera con una vida útil de 4 a 8 años, Se denomina también Microaglomerado porque utiliza, un agregado pétreo producto de trituración de granulometría predeterminada entre 1/8" a 3/8" como tamaño máximo.

Estas mezclas contribuyen con el medio ambiente, teniendo en cuenta que por cada metro cuadrado de micro superficie se requiere menor cantidad de agregados, respecto a otras alternativas de mantenimiento, lo que lleva a una menor explotación en canteras. Adicionalmente, el impacto por emisión de vapores orgánicos es mínimo por tratarse de mezclas en frío y son producidas en el mismo vehículo aplicador.

## **2.7.2. Campos de Aplicación<sup>7</sup>.**

### **2.7.2.1. Mantenimiento Preventivo.**

Actividad realizada inicio de su servicio al tránsito a un pavimento nuevo o semi nuevo, con el objeto de prevenir posibles fallas de la capa de rodadura, para conservar su condición y además prolongar la vida útil del pavimento.

### **2.7.2.2. Mantenimiento Correctivo.**

Actividad que se realiza a la superficie de rodadura de un pavimento usado, oxidado, desgastado o pérdida de sus agregados, pulido; pero con buena capacidad portante de la carpeta y de las capas granulares; para corregir las fallas superficiales y que el pavimento se encuentre en una condición aceptable.

Los campos de aplicación de las lechadas asfálticas, tendrán su origen en sus principales características: su fluidez, su textura rugosa y por lo tanto, su capacidad de rellenar huecos. Por estas características, los principales campos de utilización son:

**2.7.2.2.1. Tratamientos de Sello:** El objetivo de la técnica se basa en la fluidez en efecto es extender una capa de micro superficies sobre un pavimento, esta penetra

---

<sup>7</sup> Manual-Basico-de-Emulsiones-Asfálticas-MS-Nº-19

por gravedad por los intersticios de su superficie, los colma al evaporarse el agua. Son una solución cuando se trata de:

- Como tratamiento rejuvenecedor de pavimentos envejecidos.
- **Sellado de Fisuras.** Impermeabilizar superficies agrietadas o fisuradas y corregir deterioros tempranos.

Una división de mantenimiento puede dedicar mucho tiempo y mucho dinero al sellado de fisuras en superficies de pavimentos.

En función de la ubicación y del tamaño de las fisuras, esta tarea de mantenimiento puede considerarse correctiva o preventiva, en cualquier caso la técnica de sellado es la misma.

La fisuración tiene lugar de muchas formas, desde fisuras pequeñas del ancho de un cabello hasta fisuras de con un ancho de 25 mm o más. Fisuras de mayor tamaño o áreas más severamente fisuradas pueden no ser siempre corregibles con esta técnica. Es a menudo remover completamente el material fisurado y reparar el área en toda su profundidad con asfalto.

El conocimiento sobre los más comunes tipos de fisuras ayudan a determinar el procedimiento de conservación apropiado. En general, las fisuras están comprendidas en alguna de estas categorías:

- Fisuras “piel de cocodrilo” o alambre de gallinero; fisuras interconectadas formando una serie de pequeños bloques que semejan la piel de cocodrilo.
- Fisuras de borde fisuras a lo largo del borde exterior del pavimento usualmente dentro de una distancia de 300 a 600 mm y cuando no hay banquetas pavimentadas.
- Fisuras reflejas: fisuras de recapados asfáltico y tratamientos de superficie que reflejan la configuración de fisuras en la estructura inferior del pavimentos.
- Fisuras de contracción: fisuras interconectadas formando una serie de grandes bloques usualmente con esquinas o ángulos vivos.
- Fisuras de deslizamiento; fisuras con forma de arco que apuntan con dirección de la tracción de las ruedas sobre la superficie del pavimento.

- Fisuras lineales: pueden ser paralelas o transversales al eje central de la carretera o estar aleatoriamente en la superficie del pavimento.

**2.7.2.2.2. Tratamientos Antideslizantes:** Constituye su empleo en la corrección de pavimentos existentes que sean deslizantes.

- pérdida de agregados
- cubrir irregularidades de la corrección de fallas.
- Desgaste por abrasión

La duración y la característica de un alto valor del coeficiente de resistencia al deslizamiento, depende de factores como:

- Naturaleza y características de los agregados empleados.
- Espesor suficiente del micro aglomerado.
- Tipo e intensidad de tráfico a soportar.
- Velocidad de tráfico.

### **2.7.3. Restricciones para su Aplicación.**

No se recomienda su aplicación en deterioros con:

- pérdida de material.



Pérdida de material piel de cocodrilo      Fisuración parabólica con pérdida por deslizamiento

- Deterioros que comprometen las capas granulares.



Fallas estructurales y deterioros que originaron el deterioro superficial.

#### **2.7.4. Ventajas de los Sellos de Micro Superficies.<sup>8</sup>**

I.S.S.A. (International Slurry Surfacing Association), especifica que las principales ventajas de los sellos de micro aglomerados en frio son:

- Es una solución económica para los pavimentos oxidados, preservando los ya usados extendiendo la vida útil del pavimento existente con una baja inversión por m<sup>2</sup>.
- Flexibilidad, dependiendo de la gradación, la mezcla hará un gran trabajo en todos los tipos de pavimentos.
- Color y textura en negro en un solo tendido, que llenan las grietas y los vacíos, cubriendo áreas bacheadas.
- Utilización de materiales económicos.
- Posibilidad de trabajar todo el año.
- El micro aglomerado ha mostrado ser efectivo para altos niveles de tráfico, en caminos urbanos y rurales (Gransberg, NCHRP Synthesis 411 - Microsurfacing - A Synthesis of Highway Practice, 2010).

Los micro aglomerados en frio abordan con mayor efectividad todo el espectro de aplicaciones que ofrecen las lechadas asfálticas, junto con:

- Permitir aplicaciones nocturnas y en climas fríos.

---

<sup>8</sup> Manual-Basico-de-Emulsiones-Asfálticas-MS-Nº-19

- Corregir efectivamente problemas de ahuellamiento e irregularidades menores en la calzada. Puede aplicarse entre los 9,5 mm a los 25 mm (en más de una capa).
- Construido con la emulsión apropiada, permite controlar moderadamente los problemas de agrietamiento del tipo piel de cocodrilo, fisuras longitudinales y transversales.
- Tiempo mínimo de apertura al tránsito.
- Reduce la infiltración del agua y la destrucción de las capas granulares.
- Restituye la regularidad superficial
- Aumenta la resistencia a la tracción y a los esfuerzos tangenciales y de torsión generado por el tránsito de vehículos.
- Desaparición del peligro de desprendimiento de agregados por el uso de asfalto modificado.

#### **2.7.5. Desventajas.**

- La calidad de sus resultados dependen mucho de la experiencia en la técnica.
- No aporta estructura al pavimento existente por lo cual refleja rápidamente fallas reflectivas, de agrietamiento profundo y deformaciones plásticas de asfaltos existentes.
- Su efectividad radica en que se aplique como tratamiento correctivo temprano.
- Es una solución sensible a la calidad de las emulsiones y de los agregados pétreos empleados.
- El tiempo para su apertura al tránsito de vehículos es finito.

#### **2.7.6. Desempeño y Vida Útil Esperada.**

De acuerdo a los resultados del estudio y la experiencia de la práctica en micro aglomerados en frío realizado el año 2010 (Gransberg, NCHRP Synthesis 411 - Microsurfacing - A Synthesis of Highway Practice, 2010) los promedios de vida útil observada para los micro aglomerados en frío van desde los 4,5 años como mínimo a los 8,5 años como máximo, aplicados sobre pavimentos existentes.

**Tabla 2.3.** Extensión de vida Útil Típica al Pavimento.

Treatment	Pavement Condition		
	Good (PCI=80)	Fair (PCI=60)	Poor (PCI=40)
Microsurfacing	4 - 8 yrs.	3 - 5 yrs.	1 - 4 yrs.

Fuente: The National Center for Pavement Preservation @ Michigan State University.

La tabla 2.3.- resume la información recabada en la literatura revisada que a su vez recoge los datos de encuestas sobre aplicaciones de micro aglomerados que cumplieron sus ciclos de servicio, están entre los 4 a 8 años.

El tráfico no es la limitante principal de la vida útil en servicio de un micro aglomerado. El deterioro existente en el pavimento original es mucho más incidente. Las fallas prematuras de los micros aglomerados se presentarán en sectores con deterioros avanzados desde la base del firme, en zonas con agrietamientos profundos que no fueron tratados antes de la aplicación, o debido a una mala limpieza de la superficie a tratar.

### 2.7.7. Materiales.

Una Micro superficie asfáltica en frío es una mezcla de emulsión asfáltica – siempre modificada con polímeros, látex natural o sintético – más un agregado pétreo triturado y graduado, agua y aditivos. Adicionalmente puede incorporarse un filler mineral.

Los componentes para la elaboración de micro superficie asfáltica, se muestran en la Figura 2.11.



**Figura 2.11:** Componentes del Micro Aglomerado Asfáltico en Frio.



#### **2.7.7.1. Agregado Triturado.**

Se exige que los agregados pétreos sean de mejor calidad, con mayor resistencia a la abrasión, mayor índice de durabilidad, partículas trituradas y un contenido de finos que pasa el tamiz N°200 bajo, expresado en un equivalente de arena típicamente superior a 65%.

**Figura 2.12:** Agregado Triturado.



Agregado triturado y graduado que pasa la malla de 3/8" es apropiado para el micro aglomerado en frío. Por masa, el agregado conforma del 87 al 94% de la mezcla.

#### **Función del Agregado**

- Proveer un esqueleto mineral que soporte las cargas del tráfico.

- Proveer una adecuada resistencia al patinaje.
- Resistir la abrasión producida por el tráfico
- Resistir la meteorización producida por factores climáticos agresivos.

**Granulometría.** Se utiliza granulometrías con tamaños máximos que definen el espesor del micro aglomerado, desde 6 – 10 mm. proporcionando resistencia y una textura suficiente para el tipo de tráfico que tendrán que soportar y que se extenderán en una sola capa.

### GRANULOMETRÍAS ESPECIFICADAS

SIEVE SIZE	TYPE II PERCENT PASSING	TYPE III PERCENT PASSING	STOCKPILE TOLERANCE
3/8 (9.5 mm)	100	100	
# 4 (4.75 mm)	90 - 100	70 – 90	± 5%
# 8 (2.36 mm)	65 - 90	45 – 70	± 5%
# 16 (1.18 mm)	45 – 70	28 – 50	± 5%
# 30 (600 um)	30 – 50	19 – 34	± 5%
# 50 (330 um)	18 - 30	12 – 25	± 4%
#100 (150 um)	10 - 21	7 – 18	± 3%
#200 (75 um)	5 - 15	5 – 15	± 2%

Fuente: norma ISSA 143ª 2001

**Especificaciones de Calidad del Agregado** Los agregados deben cumplir ciertos requisitos que aseguren su resistencia a los esfuerzos mecánicos y los efectos del clima, así como la compatibilidad con el ligante.

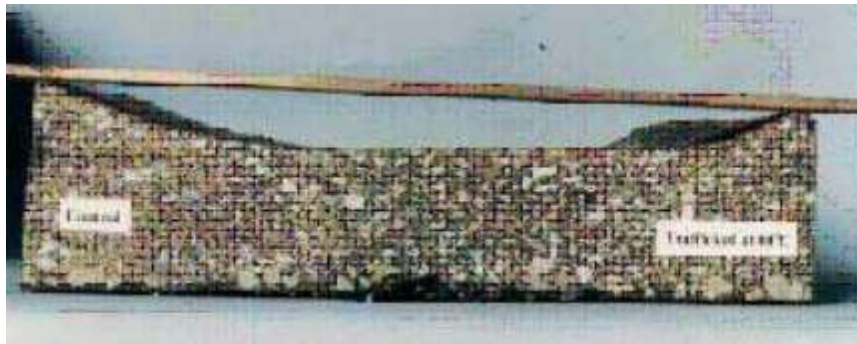
### ESPECIFICACIONES DEL AGREGADO

AASHTO TEST NO.	ASTM TEST NO.	QUALITY	SPECIFICATION
AASHTO T176	ASTM D2419	Sand Equivalent	65 Minimum
AASHTO T104	ASTM C88	Soundness	15% Maximum using $Na_2SO_4$ or 25% Maximum using $MgSO_4$
AASHTO T96	ASTM C131	Abrasion Resistance	30% Maximum

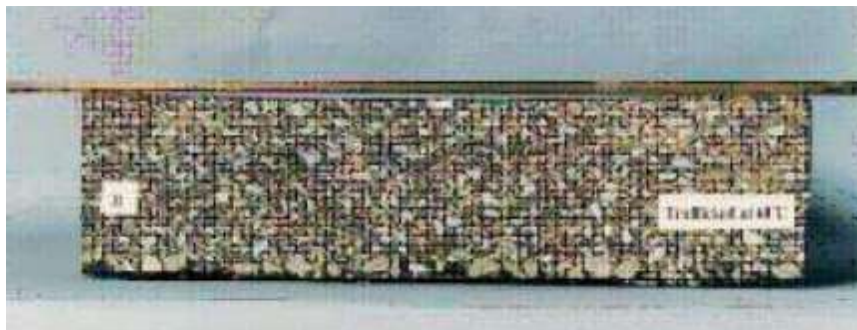
Fuente: norma ISSA 143ª 2001

#### 2.7.7.2. Emulsión Asfáltica Modificada.

La emulsión asfáltica es la dispersión homogénea de dos líquidos inmiscibles, debido a la presencia de energía mecánica y emulsificante, y durante el proceso de mezclado a temperatura inferior al punto de ebullición del agua (80°C) y esfuerzo cortante se le incorporan polímeros para formar una “RED” tridimensional que atrapa dentro de sus espacios a las moléculas del asfalto. El comportamiento mecánico de un pavimento flexible al efecto de ahuellamiento entre los asfaltos modificados y los asfaltos convencionales existe una gran diferencia como se muestra en las siguientes figuras.



Asfalto convencional sometido a tráfico a 60°C.



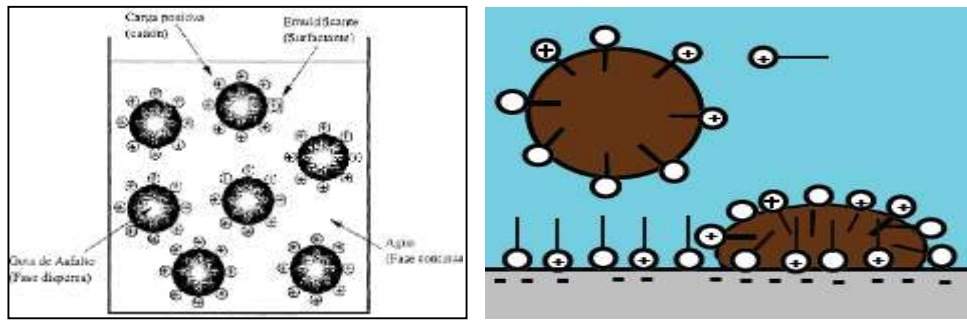
Asfalto modificado sometido a tráfico a 60°C.

#### **2.7.7.2.1. Características de la Emulsión Asfáltica Modificada:**

- **Tipo de Carga Eléctrica de la Emulsión.**

Se utilizan emulsiones catiónicas, que por su naturaleza de fraguar químicamente, tienen la ventaja de un curado rápido. Gran parte de los agregados están cargados negativamente, las emulsiones catiónicas, por tener carga positiva en las partículas de asfalto, aseguran una gran afinidad árido-ligante.

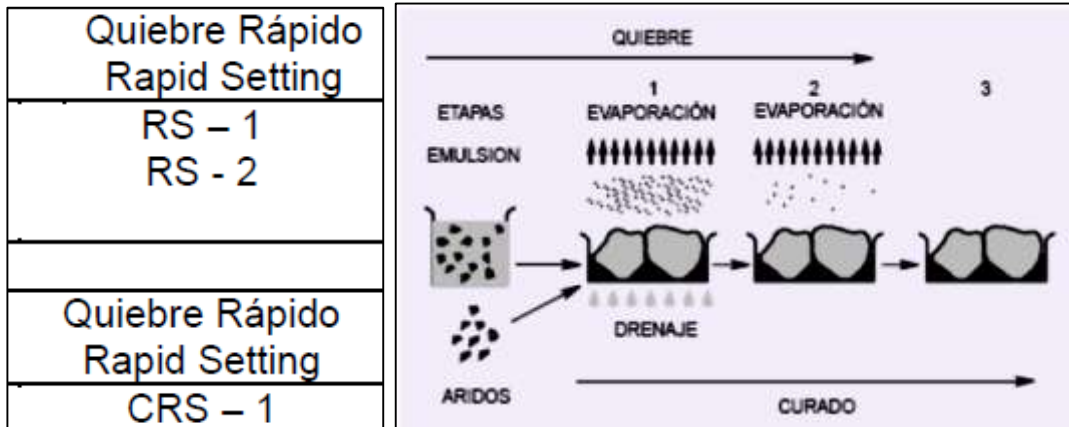
**Figura 2.13:** Estados de la Emulsión Asfáltica.



Emulsión estable - Adhesión de la gota de asfalto al agregado después del desequilibrio del sistema.

- **Tipo de Rotura de la Emulsión.**

La calidad de la emulsión asfáltica es la principal determinante de la calidad de un micro aglomerado en frío. Nomenclaturas de emulsiones comúnmente usadas para micros aglomerados son:



Nomenclatura

Proceso de rotura de la emulsión

- **Modificación con Polímeros.**

Las micro superficies solo se aceptan emulsiones modificadas con polímero modificadas con latex y de quiebre controlado o rápido (Quick Setting – QS). Los Polímeros más utilizados en la modificación de asfaltos son:

Polimeros utilizados con asfaltos	
Tipo de modificador	Ejemplo
Elastómeros	Natural
	SBS
	SBR
Plastómeros	EVA

Las ventajas de usar asfalto modificado son:

- Reducción de la susceptibilidad térmica.
- Aumento de la flexibilidad y elasticidad a bajas temperaturas.
- Incremento del módulo de rigidez a altas temperaturas.
- Mayor adhesividad de los agregados.
- Aumento de la resistencia a la tracción y a la elongación (resistencia a la fatiga).
- Incremento de la vida útil de los pavimentos, por su mayor resistencia al envejecimiento, a la propagación de grietas y la formación de ahuellamientos.
- Permite la reducción del espesor del pavimento.
- Su costo inmediato es un 25% más que las mezclas convencionales sin embargo reduce los costos de mantenimiento, produciendo rentabilidad económica en el tiempo.

### **Tipo de Polímeros.**

El planteamiento de nuevas necesidades, el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación o puesta en obra y en definitiva, la mejora y optimización de las técnicas en las emulsiones asfálticas, ha permitido la aparición de nuevos tipos de emulsiones, entre las que podemos enumerar: emulsiones muy viscosas, de alta flotación, de rompimiento controlado por aditivos, emulsiones modificadas y emulsiones de asfaltos modificados.

**Figura 2.14:** Microestructura de la Emulsión Asfáltica Modificada.



Fuente: EMULSIONES ASFALTICAS ISSN 0188-7114 Documento Técnico No. 23 Sanfandila, Qro, 2001

Actualmente se utiliza una gran variedad de polímeros comerciales con composición química y propiedades diferentes, para emulsiones de asfaltos modificados. Entre los

empleados de forma más generalizada tenemos los elastómeros termoplásticos de estireno-butadieno-estireno (SBS) y de estireno butadieno de rubber (SBR), y los copolímeros de estireno acetato de vinilo (EVA).

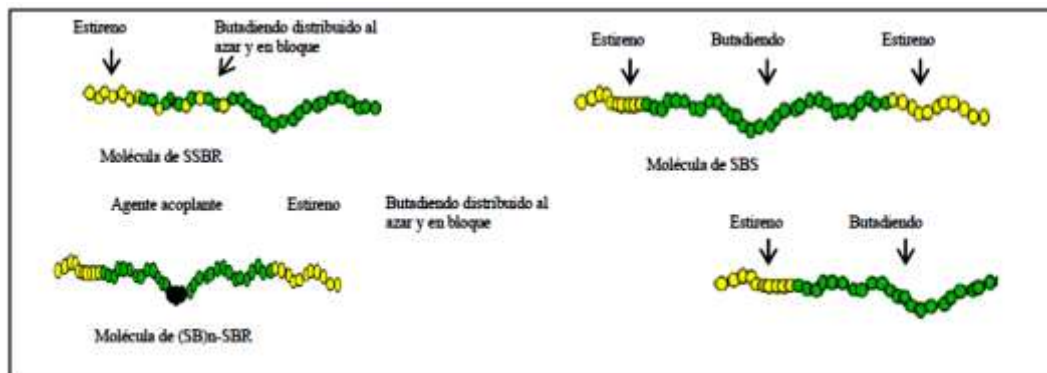
### Polímeros Elastómeros

Los polímeros elastómeros son los que tienen un alto nivel de recuperación elástica. A diferencia de los verdaderos materiales elásticos, los materiales elastómeros absorben la energía prolongándose o estirándose. Ellos tienen una estructura que entonces les permitirá recuperarse.

Esta función depende del tiempo, es decir, aunque allí pueda haber alguna recuperación instantánea, una conducta realmente elástica, la mayoría de la recuperación será con el tiempo. Por esta razón tales materiales son más usados en deflexión de pavimentos o en trabajos de grietas.

**SBS** Estireno Butadieno de estireno las emulsiones modificadas con elastómeros del tipo SBS ofrecen altas propiedades termo mecánicas, han sido consideradas como una alternativa energética y ambientalmente amigable en aplicaciones utilizadas en mantenimientos, rehabilitación y construcción de pavimentos en frío.

**Figura 2.15:** Microestructura del Polímero de Estireno-Butadieno Estireno.



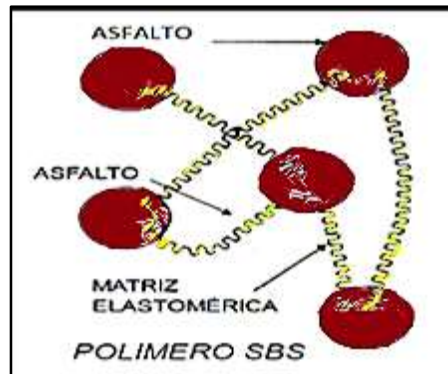
Fuente: EMULSIONES ASFALTICAS ISSN 0188-7114 Documento Técnico No. 23 Sanfandila, Qro, 2001

Son empleados para casos específicos como:

- Zonas de frenado intenso, donde se requiere una gran resistencia al derrapante.

- Zonas donde se requiere mantener una buena rugosidad durante largos periodos de tiempo.
- Climas cálidos.

**Figura 2.16:** Red Polimérica Sobre el Asfalto del Estireno-Butadieno Estireno SBS.



Fuente: EMULSIONES Y ASFALTOS MODIFICADOS Usos y Aplicaciones en el Mantenimiento de Carreteras

### **Función del Polímero**

Forma una “RED” tridimensional que atrapa dentro de sus espacios a las moléculas del asfalto y el agregado.

**SBR** La modificación con látex sintéticos de estireno butadieno de altos sólidos y polimerizados en frío (en adelante SBR) es un proceso relativamente sencillo para mejorar las características del asfalto tales como la resistencia a la deformación permanente a altas temperaturas, flexibilidad a baja temperatura y una mayor resistencia a la fatiga y al agua, junto a una mejor adhesión lo cual ayuda a minimizar la pérdida de agregado.

La incorporación del elastómero de SBR en niveles de 2 al 3% sobre el contenido del asfalto, genera una red elastomérica que permite aumentar la viscosidad (resistencia a las rodaderas) del ligante, sin volverlo rígido (buen comportamiento a la fatiga) ni quebradizo (resistencia a los ciclos térmicos día/noche e invierno/verano).

Se recomienda la utilización de estas emulsiones especiales para zonas con cambios de temperatura bruscos y extremos, caminos sinuosos de tránsito rápido y/o pesado y en general para vías de primer orden.

### **Polímeros Plasto meros**

Los materiales Plastómeros son los que tienen una alta dureza y pueden resistir a la deformación. Son llamados plastómeros porque ellos exhiben flujo plástico o deformación irreversible cuando cierta fuerza producida es excedida. Tales materiales exhiben algunas propiedades elastoméricas y tendrán alguna recuperación debajo de esta fuerza producida. Por esta razón tales materiales son buenos para la resistencia a la deformación a altas temperaturas aplicadas donde la base del asfalto puede ser suave.

**EVA** Los polímeros o resinas Etilo-Vinil - Acetato son relativamente nuevos en la modificación de asfaltos, son muy compatibles con estos.

Los asfaltos modificados con EVA poseen las siguientes características:

- Buena estabilidad térmica a un costo razonable.
- La temperatura de ablandamiento aumenta entre 6 y 12°C.
- Excelente resistencia al resquebrajamiento en flexión es decir a las fatigas provocadas por las flexiones o vibraciones repetidas.
- Aumentan la cohesión de las mezclas
- Clima de temperaturas altas

#### **ESPECIFICACIONES DE LA EMULSIÓN**

AASHTO TEST NO.	ASTM TEST NO.	QUALITY	SPECIFICATION
AASHTO T59	ASTM D244	Residue after Distillation	62% Minimum
AASHTO TEST NO.	ASTM TEST NO.	TESTS ON RESIDUE	SPECIFICATION
AASHTO T53	ASTM D36	Softening Point	135°F (57°C) Minimum
AASHTO T49	ASTM 2397	Penetration at 77°F (25°C)	40 - 90"
	ASTM 2170	Kinematic Viscosity @ 275 °F (135°C)	650 cSt/sec. Minimum °F

Fuente: norma ISSA 143ª 2001

#### **2.7.7.2.2. Ventajas del Polímeros en el Asfalto.**

Las diferencias más destacadas entre los asfaltos convencionales y los modificados con polímeros; se pueden deducir las ventajas.

A continuación se clasifican las ventajas de los asfaltos modificados:

#### **MÉCANICAS**



- Disminuyen la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.
- Aumentan la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión los agregados.
- Los asfaltos modificados con látex, hule natural, SBS y SBR son más duros pero siguen siendo elásticos lo que evita la formación de roderas y agrietamiento de los mismos.
- El polímero elastómero se comprime al aplicar un esfuerzo, pero recobran su forma original al ser retirado.
- Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- Disminuye la exudación del asfalto: por la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.
- Mayor elasticidad: debido a los polímeros de cadenas largas.
- Mayor adherencia: debido a los polímeros de cadenas cortas.
- Mayor cohesión: el polímero refuerza la cohesión de la mezcla.
- Mejor trabajabilidad y compactación: por la acción lubricante del polímero o de los aditivos incorporados para el mezclado.
- Mejor impermeabilización: en los sellados bituminosos, pues absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.
- Mayor resistencia al derrame de combustibles.
- Disminuye el nivel de ruidos: sobre todo en mezclas abiertas.
- No requieren equipos especiales.

## **TÉRMICAS**

- Disminuyen la susceptibilidad térmica.
- Disminuyen la fragilidad en climas y aumentan la cohesión en tiempos de calor.
- Varía su comportamiento de acuerdo a la temperatura en que se encuentren.
- Los elastómeros son deformables a temperatura ambiente.

## **TIEMPO DE VIDA**

- Los asfaltos modificados con elastómeros se deteriora por la trituración o abrasión del agregado antes que por la falla del ligante (asfalto).
- El polímero elastómero proporciona una excelente resistencia al envejecimiento.
- Mejora la vida útil de las mezclas: menos trabajos de conservación.
- La rigidez de los asfaltos compuestos de látex, hule natural, SBS y SBR ayuda a soportar los largos tiempos de carga sin deformaciones.

## **FÍSICAS**

- Mejorar la adherencia a los agregados.
- Mejoran el comportamiento tanto a bajas como a altas temperaturas; dado que el efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad – temperatura.
- Mayor intervalo de plasticidad.
- Mayor cohesión
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- El modificar un asfalto con un polímero compatible produce rápidamente un asfalto estable usando técnicas convencionales de preparación.
- Las propiedades del producto no se ven afectadas si se mantiene almacenado a temperatura ambiente por periodos prolongados.
- Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.

## **ECOLOGICAS.**

- La mayoría de los polímeros están basados en un esqueleto de carbono, por lo que son materiales orgánicos.

### **2.7.7.3. Agua.**

Componente principal de las lechadas, de la que depende su trabajabilidad.

En las lechadas, el agua tiene tres procedencias: humedad propia del árido, la correspondiente a la emulsión, y el que se adiciona como pre-humectación de los áridos.

Inicialmente, y en forma previa a la adición de la emulsión asfáltica, se humedecen los áridos, ejerciendo un papel de lubricante entre éstos y la emulsión, lo que permite una correcta dispersión y un fácil mezclado; a la vez que la necesaria consistencia para una puesta en obra sin quiebre prematuro de la lechada ni segregación.

Sin agua de pre-humectación:

- No es posible lograr un cubrimiento eficaz
- La emulsión es captada por las fracciones más finas de agregado, lo cual impide su correcta dispersión.
- Se origina un quiebre prematuro de la emulsión.

Un exceso de humedad favorecerá la segregación de la mezcla, dificultando su colocación en obra.

La dosificación de agua dependerá de muchos factores, entre los que se cuenta la granulometría, naturaleza y absorción de los áridos, estado de pavimento, condiciones climatológicas ambientales. Debe estar libre de sales solubles, suciedad y sedimentos y no debe ser dura.

#### **2.7.7.4. Filler Mineral.**

El relleno mineral es usado en la micro superficie para mejorar la graduación del agregado, y principalmente para proporcionar a la superficie de rodadura la alta resistencia al desgaste. El filler se considera como un componente imprescindible para la aplicación de la mezcla, porque interviene en el proceso de rotura de la emulsión e influye notoriamente en la consistencia de la mezcla. Normalmente el cemento incrementa la cohesión inicial. El filler de aportación puede ser de diferente naturaleza (cal, cenizas volantes, cemento, etc.), el más empleado con gran diferencia (>95%) es el cemento, en dotaciones entre 0,5 - 2 por ciento sobre árido. Deben cumplir con las especificaciones de la norma ASTM D-242.

#### **2.7.7.5. Aditivo.**

Los aditivos empleados para retardar el quiebre en condiciones de mucha afinidad entre la emulsión y el agregado pétreo se utiliza: Sulfato de aluminio, Sulfato de amonio y Sales inorgánicas hasta un 2% del porcentaje de la emulsión.

#### **2.7.8. Tipos de Micro Superficie.**

Los tipos de Micro superficie es determinado por el sitio, condición de la superficie donde será aplicado, condiciones climáticas y volumen de tránsito, que definen el tipo para su aplicación y que se describe a continuación:

#### 2.7.8.1. Tipo II (superficie general).

Esta graduación da una aplicación a razón de 5.4 a 10.8 kg por metro cuadrado de agregado seco, en un espesor de ¼" o menos. El contenido normal de residuo asfáltico está entre 5.5 y 13.5% en masa respecto al agregado seco. Se utiliza para el sellado de superficies, superficie anti derrapan te, rejuvenecimiento y correcciones de superficie por fallas tempranas; en vías urbanas, zonas residenciales, carreteras de mediano tránsito, superficie de los aeropuertos, estacionamientos y bermas.

Figura 2.17: Micro Superficie Tipo II.



Fuente Slurry Seal and Micro-Surfacing Materials by Scott Metcalf. Pdf

#### 2.7.8.2. Tipo III (superficies ásperas).

Esta graduación da una aplicación a razón de 8.2 a 16.3 kg por metro cuadrado, en espesores de 3/8" o menos. El contenido de residuo asfáltico normal está en el rango de 5.5 a 12% en masa respecto al agregado seco.

Figura 2.18: Micro Superficie Tipo III.



Fuente: Slurry Seal and Micro-Surfacing Materials by Scott Metcalf. Pdf

Este tipo es utilizado en superficies de asfalto que estén sujetas a cambios de temperaturas y tránsito pesado. Se utiliza para el sellado de superficies, superficie anti derrapante, rejuvenecimiento y correcciones de superficie por fallas tempranas; en carreteras de alto volumen de tránsito, autopistas y carreteras interdepartamentales.

### 2.7.8.3. Multi-Capa.

Los tipos de Micro superficie mencionados anteriormente, pueden ser usados en combinaciones formando una multicapa. Para superficies agrietadas, se aplica un Mortero fino y luego un tipo grueso. La aplicación de una capa entre la siguiente debe transcurrir de 3 – 4 horas.

## 2.8. Fabricación y Aplicación de la Micro Superficie Asfáltica.

Para la elaboración de la mezcla se procede de la siguiente manera:

### 1. Seleccionar el Tipo de Micro Superficie: Tipo II, Tipo III.

Depende de las condiciones del pavimento existente:

- Para fisuras o grietas del pavimento pequeñas se deberá escoger una micro superficie fina (tipo II).
- Si la textura del pavimento es más bien abierta, se puede usar una micro superficie más gruesa (tipo III).

- Mayores niveles de tráfico, se requieren mayor tamaño máximo de agregados (tipo III).

## **2. Seleccionar los Materiales:**

- Seleccionar el tipo de emulsión y polímero.
  - Clima de la zona: temperaturas, precipitaciones.
  - Características de la carretera: pendientes, sinuosidad.
  - Caracterización de la emulsión asfáltica
- Granulometría del agregado.
  - Compatibilidad con la emulsión asfáltico.
  - Caracterización del agregado.

## **3. Diseño Preliminar:**

Se dosifica el micro aglomerado en base a cálculos teóricos (% de emulsión)

- Método I.S.S.A. (Asociación Internacional de sellos y superficies).
- Método Marshall modificado para mezclas en frío con emulsión, norma del Instituto del Asfalto Manual Serie N°14 (MS-14)

## **4. Diseño Definitivo:**

Se determinan las dosis definitivas de emulsión, agua, filler y si se requiere aditivo.

## **5. Determinación del Porcentaje Óptimo de Asfalto Residual.**

### **2.8.1. Mezclado y Aplicación**

La dosificación de los materiales es un procedimiento realizado en un laboratorio y depende de la compatibilidad de los materiales y tipo de trabajo.

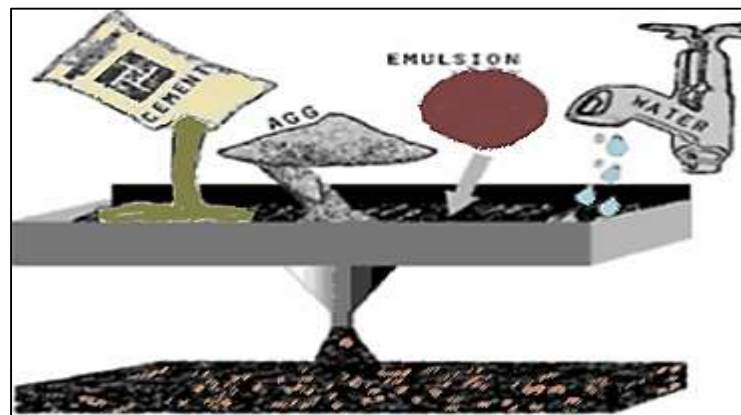
Las micro superficies asfálticas deberá cumplir las requisitos y características necesarias para su aplicación como: mezcla semi fluida, homogénea, consistencia, trabajable, tiempo de mezcla de materiales suficiente para la distribución sobre el pavimento a tratar, para la obtención de estas características se sigue el siguiente procedimiento:

- **Compatibilidad de Materiales** (Agregado – Emulsión Asfáltica)
  - **Humedad de Pre Mezcla** (Humedad del agregado + % Agua en la emulsión)

**Figura 2.19:** Materiales Componentes.



**Figura 2.20:** Dosificación de Materiales.



- **Humedad Óptima.**
  - Mezclas de prueba con distintos % de agua.
  - Prueba elegida con > 90% de adhesividad.
- **Tiempo de Mezclado > 120 segundos.**
  - Adición de cemento o cal hidratada.
  - Aditivo

**Figura 2.21:** Mezclado de Materiales.



**2.8.2. Aplicación Sobre la Superficie del Pavimento.** El proceso de aplicación sobre la superficie pavimentada se muestra en el siguiente esquema:



### **Reparaciones Previas:**

Se reparan todas las zonas con fallas estructurales y depresiones; sellado de grietas anchas, remoción de la superficie partículas sueltas, o materiales extraños.

### **Limpieza de la Superficie**

Se eliminan materiales sueltos y el polvo de la superficie del pavimento utilizando una barredora mecánica o industrial.

**Figura 2.22:** Barredora Mecánica.



### **Riego con Agua**

Se recomienda para toda la superficie, la aplicación de un riego de agua, para humedecer la superficie antes de tender la micro superficie, para homogenizar la carga eléctrica de la superficie y facilitar la adhesión del asfalto y los agregados con el pavimento tratado.

### **Restricciones Climáticas**

La lechada asfáltica no debe colocarse cuando la temperatura atmosférica está bajo los 15° C, o durante tiempo inestable o brumoso. Una amenaza de lluvia debe postergar la realización de la lechada.



### 2.8.2.1. Ejecución del Tratamiento.

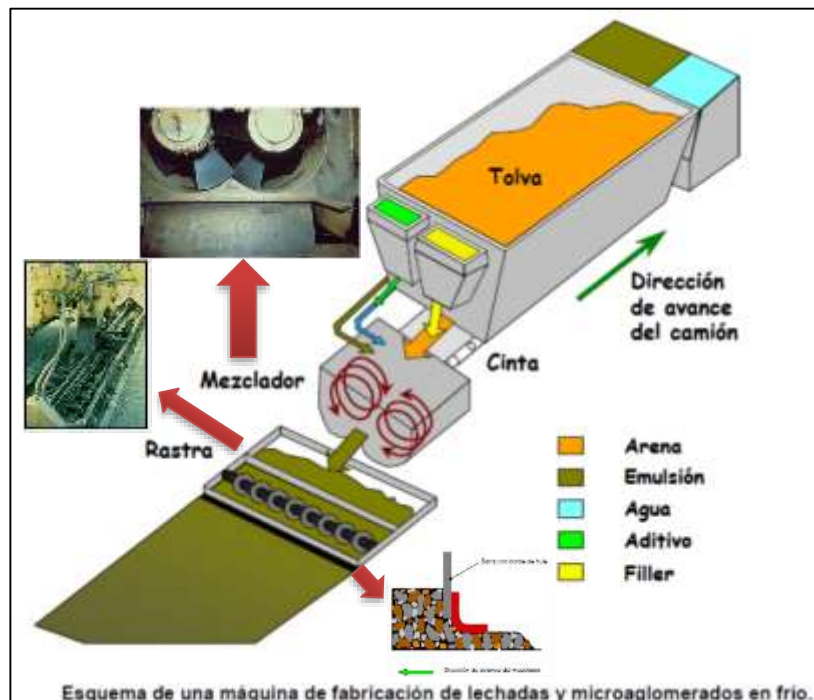
Para el tendido sobre la capa de rodadura se emplea una máquina, que es una planta mezcladora móvil, montada en un camión con una caja esparcidora tipo remolque. La máquina tiene estanques y bombas separadas para el agua y la emulsión. El agregado se controla volumétricamente, desde la tolva mediante una cinta que tiene una compuerta o sistema de engranajes.

**Figura 2.23:** Equipo de Aplicación.



Fuente: <http://d.yimg.com/kq/groups/13240622/1807610953/name/GUIA>

**Figura 2.24:** Esquema de Mezclado y Tendido.



La máquina de Slurry tiene una unidad de mezclado de flujo continuo, capaz de entregar en forma precisa una determinada dosificación de agregado, emulsión y agua a la cámara de mezclado, y descarga la lechada totalmente mezclada en forma continua. La unidad de mezclado también incluye un equipo de medición que introduce una dosificación predeterminada de filler mineral en el mezclador, al mismo tiempo que se alimenta el agregado.

**Figura 2.25:** Aplicación sobre el Pavimento Tramo Falda la Queñua cruce a San Lorenzo – Hasta el Túnel junio del 2015.



**Figura 2.26:** Proceso de aplicación Sobre el Pavimento Tramo Falda la Queñua.



Fuente: CEO CTC VIAS&ASFALTOS- Santa Cruz – BOLIVIA junio del 2015.

**Figura 2.27:** Final de la Aplicación de un Carril del Tramo Falda la Queñua-Túnel.



Fuente: CEO CTC VIAS&ASFALTOS- Santa Cruz – BOLIVIA junio del 2015.

Aplicaciones manuales, mediante rastras de goma adecuadas, se realizan para pequeñas reparaciones, y para operaciones locales de mantención, conservando todas las recomendaciones y secuencias constructivas referidas a la aplicación mecanizada.

**Figura 2.28:** Fabricación y Aplicación Manual de Micro Superficies Asfálticas.



Independientemente de la forma de aplicación sobre la superficie el resultado es el siguiente:

**Tendido sobre el Pavimento a Corregir.**



**2.8.2.2. La Compactación**

El micro aglomerado modificado con polímeros se compacta utilizando una compactadora autopropulsada de ruedas neumáticas, equipada con un mínimo de 9 llantas, con un peso de 9 a 11 toneladas y con una presión de 350 – 450 kPa. (50- 60 libras por pulgada cuadrada) peso estático sin lastre. La compactación se ejecuta a baja velocidad sin acelerar ni frenar de manera brusca sobre el sello para evitar agrietamientos y deformaciones. El ciclo de compactación se inicia luego de 30 minutos, una vez que la mezcla haya quebrado y este en un estado de avanzado de curado, nunca antes de media hora desde la instalación.

Se comprueba en obra cuando, al presionar con un papel absorbente, expulsando agua clara fuera de la micro superficie, y el papel se humedezca sin mancharse y cuando el proceso el proceso de rotura de la micro superficie este lo suficientemente avanzada para soportar el paso de la compactadora sin que exista material adherido a las ruedas. La compactación debe ser efectuada durante un periodo de tiempo que permita dar, como mínimo dos pasadas a todo lo ancho. La operación debe efectuarse del borde exterior, hacia el centro de la superficie exceptuando las curvas donde se efectuara del borde inferior al superior, en tal caso traslapando uniformemente las pasadas hasta cubrir la totalidad de la superficie.

**Figura 2.29:** Compactación de la Micro Superficie.



La compactación de la micro superficie es una efectiva herramienta para suavizar la macro textura, reducir el ruido de tránsito y controlar el desprendimiento temprano de las partículas pétreas superficiales

### **2.8.2.3. Apertura al Servicio.**

Los tiempos de apertura al tráfico en micro aglomerados son de 1 o 2 horas desde su tendido sobre el pavimento. El proceso físico-químico de rotura de la emulsión permite que la rotura y el fraguado es independiente de las condiciones climáticas y pueda ser ejecutada sin luz solar o de manera nocturna. La apertura al tránsito se efectúa, cuando el proceso de rotura de la emulsión haya finalizado como también la compactación y la superficie presente un color negro oscuro, se apertura al tránsito de vehículos con velocidad moderada para evitar el desprendimiento de agregados.

**Figura 2.30:** Aspecto al Final del Proceso de Fraguado de la Micro Superficie.



### **2.8.3. Espesores:**

El sello con micro aglomerado en frío aunque permite aplicaciones de capa sobre capa, sigue siendo una aplicación de espesor delgado que no aporta estructura la base existente. Por lo anterior no se pueden esperar buenos resultados si se aplica para:

- Corrección de grietas reflectivas profundas con compromiso de la base.
- Frenar el avance de fallas que vienen desde la Base del pavimento.
- Corregir y frenar deformaciones plásticas por cizalle en carpetas.

La Micro superficie asfáltica se aplica en espesores de 6 a 10 m.m. definido por el tipo de granulometría, pero se puede cubrir fallas de ahuellamientos hasta 20 mm en una sola pasada para el tipo III, dependiendo de las irregularidades de la superficie del pavimento. Si se requieren mayores espesores deberá colocarse en dos capas delgadas, permitiendo el quiebre entre cada aplicación.

### **2.9. Diseño de Micro Superficies asfálticas.**

Caracterización de materiales mediante las pruebas correspondientes, luego de analizar las pruebas que se realizan a los elementos que componen una micro superficie, se estudia el diseño de la mezcla conforme a un posible comportamiento en la construcción, en condiciones bajo las cuales se va a realizar la aplicación.

Los tipos de Micro superficies (AASHTO T27 (ASTM C136) y AASHTO T11 (ASTM C117)), según la granulometría a utilizar, estas van en función del grado de deterioro de la capa de rodadura y los daños superficiales que se deben corregir.

Para el diseño del tipo y espesor de una superficie de Micro superficie, se considera los siguientes factores:

- Tipo y condición de la capa de rodadura existente o la nueva superficie donde será aplicado el Micro superficie: sobre base granular, pavimento asfáltico o concreto, textura superficial, cantidad y tamaño de grietas.
- Tipo y volumen de tránsito.
- Condiciones climatológicas.
- La disponibilidad de materiales y equipo.

### **2.9.1. Caracterización de los Materiales.**

La selección de los materiales es el primer paso para la optimización de las propiedades de la mezcla que a su vez permitan optimizar la selección de los aditivos y el nivel de uso de los mismos.

Existen muchos tipos de agregados, y el asfalto es fabricado por diferentes métodos y proviene de diferentes crudos, esto significa que existe una gran cantidad de posibles combinaciones de mezclas, especialmente cuando se consideran los diferentes tipos de emulsiones asfálticas. La cantidad se reduce al utilizar las clases de agregados especificados, situación que no siempre podrá seguirse. La cantidad de combinaciones es alta y no pueden ser ensayadas todas, el proceso de diseño de la mezcla es de esta forma es el resultado de una cuantificación aproximada de tanteos.

Preliminarmente se examinan las características de los agregados y luego se elige la química del ligante/emulsión. Los aditivos y modificantes son añadidos para cambiar

las características de la mezcla estableciéndose así una mezcla para una excelente aplicación en obra.

Se realizaran los ensayos a los materiales que componen la mezcla para verificar el cumplimiento de las especificaciones establecidas es el primer paso en el proceso de diseño de mezclas de micro superficies. La caracterización de los materiales involucra ensayos para determinar sus propiedades físicas las cuales se comparan con las especificaciones establecidas para cada proyecto. La mayoría de los componentes de la mezcla son ensayados en base a los estándares de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la American Society of Testing Materials (ASTM) que están descritos en el Manual de Carreteras de la A.B.C.

### **2.9.2. Caracterización del Agregado Mineral.**

Los agregados (excluyendo el relleno mineral) constituyen entre el 82% al 90% en peso de la técnica de las micro superficies, su granulometría determina el tipo de mezcla y la aplicación recomendada, y las características físico químicas del agregado definirán el desempeño del micro superficies sobre la carretera. La recomendación para obtener excelentes resultados de la técnica son: los agregados deberán ser piedra triturada, limpia, con partículas fuertes libres de químicos absorbidos, arcilla y otros materiales que puedan afectar la adherencia, mezclado y colocación de la mezcla. Con preferencia piedra triturada y angular y no contener muchas partículas planas y alargadas.

El comportamiento de la mezcla depende de la granulometría del agregado y de manera similar es dependiente del tipo para el trabajo de aplicación en el que será utilizado la técnica de las micro superficies.

La evaluación de las demás características del agregado fino se obtendrá mediante los ensayos de laboratorio. Los principales ensayos que se realizan al agregado mineral para establecer su calidad y aptitud para ser utilizados en la mezcla de micro superficies se describen de manera general.

#### **2.9.2.1. Ensayo Granulométrico AASHTO T27-99, ASTM C 136-01 /AASHTO T1199, C 117-03**

Este ensayo consiste en la separación a través de una serie de tamices de abertura conocida (Figura 2.31), una masa conocida de agregado seco, para la determinación de

la distribución de tamaños de las partículas que constituyen el agregado mineral. La gradación del agregado debe acoplarse con los requerimientos granulométricos tipo II y tipo III establecidos por la ISSA. El conocimiento de la cantidad de material, presente en el agregado, por tamaño de partícula es importante para la determinación del contenido teórico de asfalto que debe de poseer la mezcla. La mayor cantidad de agregado fino genera mayor requerimiento de emulsión asfáltico, que se deben considerar en la dosificación, la insuficiencia o el exceso de alguno de los componentes, resultarían en exudaciones de asfalto, desprendimiento de agregado por falta de ligante que mantenga adheridas las partículas, acortando de esta manera la vida de servicio de la técnica.

También es importante determinar el tamaño máximo nominal del agregado que determina el factor de espesor de la capa de micro superficies a diseñar. La distribución de tamaños entre partículas controla y mantiene un contenido apropiado de vacíos en la mezcla y proporciona la textura superficial de micro superficies.

**Figura 2.31:** Juego de Tamices.



Fuente: Propia

### **2.9.2.2. Ensayo de Caras Fracturadas (ASTM D 5126-95)**

Se utiliza para evaluar y conocer la distribución por tamaño de los granos que están conformando la muestra del suelo. Se representa gráficamente por medio de una curva granulométrica que muestra la relación de peso y tamaños en muestras representativas



del material a experimentar. Para determinar el tamaño de las partículas que conforman un suelo, se hace uso una serie de tamices de forma circular que traen diferentes aberturas y se colocan uno sobre otro, quedando el de menor a mayor la abertura en la parte superior donde se va depositando el material. Se realiza el tamizado de la muestra seleccionada.

El peso total de la muestra depende del tamaño del agregado del material, y luego el peso. Se comienza luego a seleccionar manualmente las partículas que presentan caras fracturadas, consideradas estas como fracturadas cuando un 25% o más del área de la superficie aparecen fracturados. Terminado el proceso de selección, se pesan las partículas que presentan caras fracturadas, y determinar el porcentaje de las mismas.

***Partículas fracturadas*** Son aquellas partículas de agregado que tienen al menos el mínimo número de caras fracturadas o quebradas, ya sea por medio natural o por triturado artificial.

***Partículas no fracturadas*** Son aquellas partículas donde su forma es redondeada y no posee ningún tipo de fractura, un ejemplo de esta son los cantos rodados.

***Partículas fronterizas*** Son aquellas partículas en las cuales se duda de su angulosidad y estas se encuentran en un punto medio entre las dos anteriores.

**Figura 2.32:** Agregado para el Ensayo de Caras Fracturadas.



### **2.9.2.3. Equivalente de Arena AASHTO T 176-02, ASTM D2419-02**

El propósito de este ensayo es indicar, bajo condiciones estándar, la proporción relativa de arcilla o materiales finos y polvo que se encuentran entre los sólidos granulares y agregados finos que pasan el tamiz de 9.5 mm (No.3/8).

El término “Equivalente de Arena” expresa el concepto que, la mayoría de sólidos granulares y agregado fino son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y generalmente arcilla indeseable o fina y polvo.

El ensayo consiste en verter un volumen medido de agregado y una pequeña cantidad de solución floculante dentro de un cilindro plástico graduado (figura 2.33) agitándose para soltar el recubrimiento de arcilla presente en las partículas agregado. A la muestra se agrega una solución floculante que arrastra el material arcilloso dentro de la suspensión a subir por encima del agregado. Después de un periodo preestablecido de sedimentación, se mide la altura de la arcilla y del agregado contenidos en el cilindro graduado. El equivalente de arena es el cociente de la altura de arena entre la altura de la arcilla por 100. Se especifica un valor mínimo de 65 para micro superficies.

**Figura 2.33:** Equipo de Ensayo de Equivalente de Arena



Fuente: Propia.

#### **2.9.2.4. Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino AASHTO T84-00, ASTM C128-01**

Este método de ensayo determina la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (sin incluir el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregado fino. Determina el peso del

agregado con relación a un peso dado de agua y se utiliza para calcular el volumen que ocupa el agregado en la mezcla, de igual manera se utiliza para la determinación del contenido teórico de asfalto y de los requerimientos de emulsión. La mayor parte de los agregados de peso normal presentan valores de gravedad específica que oscilan entre el 2.4 y 2.9. No existen especificaciones estándar para los valores de gravedad específica que permitan discriminar entre tipos de agregados, sin embargo es de tener en cuenta que agregados que presenten un valor de gravedad específica menor que 2.0 pueden no ser apropiados para mezclas de superficie, porque son definidos como agregados livianos propensos a desintegración excesiva, debido a las cargas de tráfico. Este ensayo también determina la calidad del agregado mediante el porcentaje de absorción, valores altos indican alta permeabilidad con alto contenido de poros, que lo define como un agregado de baja calidad para la técnica.

**Figura 2.34:** Equipo para el Ensayo de Densidad Específica y Absorción



Fuente: Propia

#### **2.9.2.5. Abrasión por la Máquina de los Ángeles AASHTO T96-02, ASTM C131-**

03

El ensayo determina de manera cuantitativa la resistencia a la abrasión que presenta el agregado y que expresa la dureza de un agregado. La resistencia a la abrasión, desgaste, o dureza es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca

madre. Este ensayo proporciona una medida de la degradación del agregado mineral de gradación estándar resultado de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, impacto y machacado en un tambor rotativo de acero conteniendo un número específico de esferas de acero (Figura 2.35.). Así como el tambor rotativo, un estante o placa recoge la muestra y las esferas de acero, acarreando alrededor de la maquina hasta que estos caen al lado opuesto del tambor. Creando un efecto de abrasión por impacto. Después de un número establecido de revoluciones, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir la degradación como el porcentaje de perdida.

El valor que proporciona este ensayo indica los efectos de las cargas vehiculares sobre la pulimentación y desgaste del agregado, se considerarse como un indicador de la calidad del agregado. A menor cantidad de desgaste mayor calidad del agregado. Para micro superficies se establece un límite de desgaste del 30%, porque la superficie aplicada sobre la carpeta es una capa delgada donde el agregado es el principal componente que resistirá las cargas de tráfico.

**Figura: 2.35:** Máquina de los Ángeles.



Fuente: Propia

#### **2.9.2.6. Ensayo de Durabilidad** AASHTO T 104-99, ASTM C 88-02

Determina los efectos de la sal y de los ciclos de hielo-deshielo en el agregado. Como se define en el estándar ASTM C 88-02, se utiliza para determinar la solidez de un agregado al estar expuesto al desgaste por intemperismo, este valor indica la calidad del agregado. Se establecen valores máximos del 15 al 20% dependiendo del reactivo

utilizado. Los valores obtenidos pueden utilizarse como una estimación preliminar de la resistencia que presentan los agregados a condiciones severas de intemperismo. Las características de variabilidad del clima que presenta nuestro país con condiciones ambientales extremas en la distintas estaciones del año, por lo que este ensayo al ser solamente una prueba subjetiva de la resistencia del agregado a condiciones específicas de desgaste (ciclos de expansión y contracción de sustancia alojadas en los poros permeables del agregado) no pueden obviarse, para este ensayo se utiliza compuestos químicos para simular la reacción de los materiales en la composición de las rocas sometidos a compuestos solubles de carbonatos y sulfatos a las cuales se verá expuesto el agregado como parte de mezcla de micro superficies.

Los agregados que se utilizan en las micro superficies, y otras técnicas de rehabilitación de carreteras de pequeño espesor y en general, el agregado debe ser muy resistente al desgaste o alteración de sus propiedades por sulfatos y carbonatos y poseer una alta calidad de sus propiedades que garantice la adecuada resistencia a las cargas de servicio a las que se verá expuesto, los requisitos que debe cumplir el agregado para poder ser utilizado en la técnica de micro superficies, según las especificaciones propuestas en la norma ISSA A143.

**Figura 2.36:** Sulfato de Sodio y el Agregado Clasificado por Tamaño.



Fuente: Propia

### **2.9.3. Caracterización de la Emulsión Asfáltica.**

Dependiendo de los requerimientos del comportamiento para cada proyecto, se elige la emulsión, que depende de: clima, comportamiento con el agregado, tiempo de duración del trabajo para abrir al tránsito. El contenido de residuo asfáltico generalmente varía entre el 5.5% y el 10.5% sobre el peso seco del agregado, el asfalto

en la emulsión es elegido para un punto de ablandamiento específico y propiedades generales de elasticidad. El ligante usualmente utilizado debe proporcionar excelente elasticidad pero también un desarrollo rápido de la cohesión y un alto punto de ablandamiento.

La emulsión asfáltica para micro superficies deberá ser una emulsión de apertura al tráfico acelerada (quick-traffic) y conformarse a los requerimientos establecidos en el estándar ASTM D 2397 para emulsiones del tipo CSS-1h. Algunas agencias de transporte en los estados unidos de América, como el Departamento de Transporte de California, establecen que "...para mezclas de micro superficies, deben utilizarse solamente emulsiones del tipo QS, incluyendo las comúnmente conocidas<sup>9</sup>

La emulsión a su vez debe ser una emulsión asfáltica modificada con polímero, el material que se utilice como modificante deberá ser molido o mezclado dentro del asfalto (polímero como componente del asfalto modificado) o con la solución de emulsificante previo al proceso de emulsificación (polímero como componente de la emulsión con asfalto convencional). La cantidad mínima y el tipo de polímero deberán ser determinados en laboratorio. La cantidad mínima requerida deberá basarse en el peso del asfalto requerido y por lo general se considera no menor del 3% de polímero sólido en base al peso de residuo asfáltico presente en la emulsión.

Se realizan ensayos tanto a la emulsión como al residuo asfáltico obtenido de ella primeramente para determinar si la emulsión es adecuada para utilizarse en micro superficies y en segundo lugar para determinar si cumple con los requerimientos establecidos en las especificaciones propuestas en la norma ISSA A143.

En general los ensayos para determinar las características tanto de la emulsión asfáltica a utilizar, como del asfalto que la compone, son los siguientes:

#### **2.9.3.1. Ensayo de Viscosidad Saybolt Furol. AASHTO T50-96, ASTM D244-00**

La viscosidad es una propiedad de la emulsión que afecta su utilidad, una emulsión debe estar lo suficientemente diluida para ser aplicada uniformemente a través de los dispositivos aspersores en una máquina de proceso continuo, determinando el bombeo

---

<sup>9</sup> ISSA A143 (revised) January 2001

de la emulsión en la máquina, y a la vez debe de ser lo bastante densa para que, una vez colocada, esta no fluya por variaciones de pendiente. La viscosidad Saybolt Furol es una medida del tiempo que un volumen de asfalto, tarda en fluir por gravedad dentro de un tubo de bronce con un diámetro estándar (figura 2.37) y debe de oscilar entre 100 a 400 segundos para emulsiones de doble viscosidad y 90 a 100 en emulsiones de baja viscosidad.

**Figura 2.37:** Viscosímetro Saybolt Furol.



Fuente: Propia

**2.9.3.2. Análisis de Tamizado** (Contenido de partículas retenidas en tamiz No. 20 AASHTO T59-01, ASTM D244-00, (Sección 53 a la 58)

Se utiliza como parámetro para establecer las características de bombeo y estabilidad de la emulsión. Este método de ensayo mide el grado en que una emulsión asfáltica puede contener partículas de asfalto u otro sólido diseminado retenido sobre el tamiz No. 20 (850 $\mu$ m) (Figura 2.38). Las partículas de asfalto retenidas sobre el tamiz a menudo son causa de aglomeración de la fase dispersa. Las condiciones de almacenaje, bombeo, el manejo o manipulación y la temperatura pueden contribuir a la formación de estas partículas. Se establece un límite máximo del 0.1% de emulsión.

**Figura 2.38:** Tamiz Estándar No. 20 (850 $\mu$ m) para el Contenido Partículas Retenidas



Fuente: propia

### **2.9.3.3. Contenido Residual de Asfalto AASHTO T50-96, ASTM D244-00**

Determina la cantidad de asfalto o de asfalto modificado con polímeros en la emulsión. El valor obtenido se utiliza en la determinación del contenido teórico de asfalto basado en los requerimientos de emulsión. La cantidad residual de asfalto puede determinarse ya sea mediante un proceso de destilación (figura 2.39) o mediante evaporación.

El contenido de asfalto debe de ser mayor del 62%. Este ensayo permite la determinación de las propiedades del residuo asfáltico que compone la emulsión y es un ensayo básico para conocer otras propiedades tales como: penetración, y la ductilidad.

El ensayo es generalmente realizado a temperaturas que varían de 215°C a 260°C, sin embargo para emulsiones modificadas con polímero las temperaturas de destilación no deben de sobrepasar los 138°C para evitar la separación del polímero y la emulsión.

**Figura 2.39:** Equipo de Destilación de Asfalto.





Fuente: [https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=imgres&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj2ZLO243PAhUH8z4KHcDaB98QjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.rabfis15.uco.es%2Fflabquimica%2Ftutorial%2Fmarco\\_inferior.htm&psig=AFQjCNE01ILxRvt5Qn0FoizNdOOSCxYLFA&ust=1473903247917288](https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=imgres&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj2ZLO243PAhUH8z4KHcDaB98QjRwIBw&url=http%3A%2F%2Fwww.rabfis15.uco.es%2Fflabquimica%2Ftutorial%2Fmarco_inferior.htm&psig=AFQjCNE01ILxRvt5Qn0FoizNdOOSCxYLFA&ust=1473903247917288)

#### **2.9.3.4. Penetración del Residuo de Asfalto. AASHTO T49, ASTM D5-97**

El ensayo de penetración es utilizado como medida de la consistencia del asfalto, altos valores indican consistencias blandas, y se expresa como la distancia en décimas de milímetro, que una aguja estándar penetra de manera vertical una muestra, bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura (figura 2.40).

**Figura 2.40:** Equipo utilizado para la Realización del Ensayo de Penetración.



Fuente: Propia.

#### **2.9.4. Caracterización del Relleno Mineral.**

El relleno mineral ayuda en la reacción inicial entre el agregado y la emulsión, actúa como agente *tixotrópico*, previene la segregación del agregado, uniformiza la granulometría del material fino que pasa la malla #200.

**Figura 2.41:** Tamizado del Cemento Portland.



Fuente: Propia

### **2.9.5. Caracterización del Agua de Mezclado.**

El agua es el componente de mezcla para las lechadas asfálticas y el material principal que determina la consistencia de la mezcla, y se encuentra en la mezcla de tres maneras distintas: como humedad natural del agregado, como agua de mezclado y como componente de la emulsión asfáltica.

Los límites de contenido total de humedad típicamente entre el 10% y 20% sobre el peso seco del agregado dependen del medio ambiente y características del agregado.

La norma ISSA a143 establece que el agua utilizada en la fabricación la mezcla de micro superficies debe ser potable y compatible con la mezcla, y no se especifican parámetros para determinar la calidad del agua.

### **2.9.6. Caracterización del Aditivo Químico.**

El aditivo debe ser compatible con los otros componentes de la mezcla. La cantidad de aditivo varía entre el 0% y el 2% sobre el volumen de la emulsión, pero se recomienda utilizar cantidades bajas de aditivo.

## **2.10. Metodologías de Diseño para Micro Superficies**

Existen dos metodologías de diseño de mezclas de micro superficies, la más utilizada es la metodología ISSA A143, el segundo método es el método Marshall modificado para mezclas en frío.

### **2.10.1. Método de la International Slurry Surfacing Association.**

La norma estándar de diseño ISSA A143 – “*Recommended Performance Guidelines For Micro Surfacing*”, es el más amplio método utilizado para el diseño de micro superficies. La recomendación no indica el procedimiento a seguir, mas es una guía del desempeño esperado para las mezclas de micro superficies, solamente establece los requerimientos que debe cumplir una mezcla y los ensayos que deben de realizarse, mas no describe los pasos para obtener la mezcla final.

Esta guía describe el siguiente procedimiento:

- Primero se evalúan los materiales que componen la mezcla y estos cumplir con las especificaciones establecidas en la norma ISSA A 143a, resumidas para agregados y para la emulsión asfáltica.
- Luego se evalúa la compatibilidad de los componentes y el comportamiento para conformar una mezcla homogénea, se establecen los requerimientos particulares de cada componente, contenido de agua de mezclado optimo, la cantidad de relleno mineral, aditivos y el contenido teórico de asfalto en la mezcla.

#### **2.10.1.1. Determinación de los Componentes.**

La determinación teórica preliminar de los componentes, consiste en determinar el porcentaje de material (agregados, emulsión) de cada componente y que formara el 100% la mezcla de las micro superficies asfálticas, esta determinación será el inicio para obtener la dosificación correcta que será el resultado de ensayos que se realizaran hasta conseguir el contenido óptimo de cada componente de la mezcla, y que debe cumplir las especificaciones de calidad descritas en la norma.

Para determinar el porcentaje teórico de los componentes se inicia con el contenido de asfalto y la diferencia del 100% le corresponde al porcentaje de agregado.

#### **2.10.1.2. Determinación del Tiempo de Mezclado.**

Este ensayo hace uso de mezclas de prueba para identificar el material que puede ser mezclado a temperatura ambiente por lo menos por 120 segundos, y está basado en el ISSA TB 113. Mediante este procedimiento se establece el contenido mínimo de agua de mezclado para producir una mezcla que pueda manejarse por un tiempo de 120 segundos. Se recomienda realizarse para cada contenido de ligante con diferentes cantidades de relleno mineral (0.5, 1.0, 1.5, 2%). El contenido de agua varía desde un valor necesario para obtener una mezcla cremosa a valores cada vez más bajos reduciendo el contenido de agua en intervalos del 1% para obtener el mínimo requerimiento de agua. Si la mezcla no puede ser mezclada por 120 segundos sin romper, el diseño es rechazado.

#### **2.10.1.3. Determinación del Tiempo de Fraguado y Curado.**

Basado en el Boletín Técnico ISSA TB 139. El estándar ASTM D 3910 describe una forma simplificada del ensayo de cohesión, el cual sirve para establecer el tiempo de curado de mezclas de slurry seal, esta prueba de cohesión registra solamente “el tiempo requerido para alcanzar un torque máximo constante o hasta que el pie de goma se mueve libremente sobre el disco de slurry sin desplazar las partículas de agregado”, es decir, determina solamente el punto en el cual la mezcla a curado. La prueba mide el torque durante el desarrollo del fraguado y sus esfuerzos de cohesión, definiendo el “tiempo de fraguado” y el tiempo temprano de apertura al tráfico” como una función de desarrollo del fraguado y el tiempo.

#### **2.10.1.4. Tiempo de Fraguado y Apertura al Tránsito.**

El tiempo de fraguado es definido como el lapso de tiempo después del vaciado cuando un sistema de lechada no puede ser remezclado y llevado a una mezcla homogénea, esto ocurre cuando: no son posibles desplazamientos laterales al compactar el espécimen, cuando una toalla de papel absorbente no se ensucia al oprimirla suavemente sobre la superficie de la lechada; o cuando una emulsión ha ligado y no se consigue lubricar fácilmente la mezcla; y cuando una emulsión no puede ser diluida, lavada ni quitada libremente con agua. Para sistemas de fraguado acelerado “Quick Setting”, simplemente se establece que:

*El tiempo de fraguado*, es en donde ocurre un nivel de torque de 12 (12-13) Kg-cm.

Un *micro superficie de fraguado rápido* se define como un sistema de lechada el cual alcanza los 12-13 kg-cm de cohesión al torque dentro de 30 minutos.

*Tiempo de apertura al tráfico*: el tiempo de apertura al rodamiento temprano del tráfico ocurre a un nivel de torque de 20 (20-21) kg-cm, como norma este nivel de torque debe de ocurrir para especímenes de 60 minutos. Un *sistema de rápida apertura al tráfico* es definido como una mezcla de lechada el cual alcanza los 20-21 kg-cm de cohesión al torque dentro de 60 minutos.

### **2.10.2. Método Marshall para Mezclas Asfálticas en Frío con Emulsión<sup>10</sup>.**

Este es segundo método utilizado para el diseño para mezclas asfálticas en frío con emulsión. Es aplicable a mezclas producidas tanto in situ como en laboratorio, a temperaturas ambiente.

El método comprende la realización de las siguientes etapas:

- a) Contenido inicial de emulsión.
- b) Contenido de agua de pre mezcla.
- c) Contenido óptimo de agua de compactación.
- d) Contenido óptimo de asfalto residual.

Los aparatos y materiales necesarios para este ensayo son los mismos utilizados en el método de diseño Marshall para mezclas en caliente.

El procedimiento consiste en varios pasos que se detallan a continuación:

---

<sup>10</sup> Manual de Carreteras V4A. “Administradora Boliviana de Carreteras”

### **2.10.2.1. Determinación del Contenido Inicial de Emulsión.**

Para el contenido inicial de emulsión se estima a partir del siguiente procedimiento:

#### **a) Fórmula Empírica**

En caso de no contarse con el equipamiento necesario para realizar el E.C.K, el contenido inicial de emulsión se puede estimar a partir de la siguiente fórmula.

$$\%E = [(0,05 * A) + (0,1 * B) + (0,5 * C)] * 0,7$$

Dónde:

**%E:** Porcentaje en peso de emulsión asfáltica, sobre el peso del árido seco.

**A:** Porcentaje del árido retenido en malla N° 8 (2,36 mm)

**B:** Porcentaje del árido pasa por malla N° 8 (2,36 mm) y retenido en el N° 200

**C:** Porcentaje de árido pasante por malla N° 200 (75 µm)

### **2.10.2.2. Test de Cubrimiento y Adhesión.**

La evaluación preliminar para la selección de una emulsión asfáltica para el diseño de mezcla debe ser acompañada por una evaluación del cubrimiento del árido. El contenido inicial de emulsión se mezcla con el árido a utilizar y se estima visualmente, como un porcentaje del área total, el cubrimiento del árido por parte de la emulsión. La habilidad de la emulsión para cubrir el árido es muy sensible al contenido del agua de pre mezcla del agregado, por lo cual el test de cubrimiento se debe realizar con distintos porcentajes de agua de pre mezcla.

El procedimiento - Contenido de agua de pre mezcla se realiza de la siguiente manera:

- Separar una muestra representativa de la emulsión asfáltica a utilizar.
- Tamizar y separar los áridos secos al aire en la siguiente fracción: 9,5- 4,75.
- Preparar un número suficiente de muestras de áridos combinados secos al aire para mezclas de prueba. La masa de cada muestra debe ser de 1200 gr de material seco en horno.
- Determinar la humedad de una muestra de áridos secos al aire y registrar.
- Colocar una muestra de material en un recipiente, incorporar un porcentaje de agua predeterminado de pre mezcla y mezclar.

La cantidad de agua incorporada será tal que cumpla las siguientes consideraciones:

- Emulsión asfáltica de curado medio: Prueba inicial deberá ser mezclada sin la adición de agua de pre mezcla, es decir, se debe realizar con el árido en condición seco al aire.
- Combinar el contenido inicial de emulsión determinado con el árido húmedo.

Mezclar a mano hasta que el asfalto esté distribuido en toda la mezcla.

- Calcular el contenido de agua libre de la mezcla.
- Preparar otras probetas de acuerdo a los pasos anteriores, con incrementos de 1% en el agua de premezcla hasta que la mezcla se vea empapada o comience a segregarse. Cuando esto ocurra continúe con la siguiente etapa.
- El cubrimiento del árido es evaluado de forma visual. Para cada contenido de agua de premezcla, estimar el porcentaje del área total de áridos cubiertos con asfalto y registrar.
- Si el cubrimiento del árido es superior al 50% entonces el test es encontrado satisfactorio, por lo tanto se debe seleccionar aquel contenido de agua de premezcla que satisfaga con la condición definida. En caso de que el cubrimiento del árido no sea considerado satisfactorio, la emulsión debe ser modificada o se debe seleccionar otro grado de emulsión).

**Figura 2.42:** Ensayo de Cubrimiento del Agregado y la Emulsión.



Fuente: Propia.

Este punto será el mínimo contenido de agua de pre mezcla; las subsecuentes mezclas deberán ser producidas con este mínimo contenido de agua de pre mezcla.

### **2.10.2.3. Procedimiento - Test de Adhesión.**

Pesar una muestra de 100 gr. de la mezcla confeccionada, sin que haya sido sumergida en agua, colocarla en un recipiente de poca profundidad y someterla a un período de curado de 24 hrs. en un horno de tiro forzado a 60 °C.

Se coloca la mezcla curada en un vaso de 600 ml, el cual debe contener 400 ml de agua destilada hirviendo.

Manteniendo el agua hirviendo, revolver durante tres minutos a una vuelta por segundo. Sacar el agua del vaso y colocar la mezcla sobre un papel absorbente.

Después de que la mezcla haya secado, evalúe visualmente el porcentaje de asfalto retenido sobre los áridos. Si es satisfactorio, continúe el diseño de la mezcla.

En caso contrario, la emulsión debe ser modificada o seleccionar otro grado de emulsión.

**Figura 2.43:** Ensayo de Adhesión de la Emulsión Sobre el Agregado.



Fuente: Propia.

#### **2.10.2.4. Contenido Óptimo de Agua de Compactación.**

Las propiedades de la mezcla están íntimamente relacionadas a la densidad obtenida luego de la compactación. De esta forma es necesario optimizar el contenido de agua de compactación para maximizar la densidad de la mezcla.

El procedimiento de diseño de mezcla utiliza el procedimiento Marshall modificado para evaluar las propiedades de la mezcla compactada, en este caso específico evaluando la densidad seca de la muestra.



**Figura 2.44:** Moldes, Collarín y Base de las Briquetas Marshall.



Fuente: Propia.

**Figura 2.45:** Equipo Completo Para Fabricar las Briquetas Marshall.



Fuente: Propia.

El procedimiento para la Preparación de probetas se realiza de acuerdo a los siguientes puntos:

- Cantidad de Muestras: Se deben preparar como mínimo tres probetas con el equipo Marshall para cada uno de los tres contenidos de agua de compactación a utilizar.
- Preparación del molde y el martillo.
- Preparación del árido: mezclar las fracciones antes definidas de cada material para producir una masa de 1.200 gr en cada probeta (secos en horno). En un área ventilada, colocar la muestra en un recipiente y determinar la temperatura del árido. La temperatura debe ser ajustada a  $22,2 \pm 1,7$  °C previo a la mezcla
- Cálculos: Se requiere realizar los siguientes cálculos: masa del árido, masa de la emulsión asfáltica, masa del agua de pre mezcla y masa de la pérdida de agua para compactación. Los cálculos se realizan según las siguientes fórmulas:

Masa del árido (W):

$$W = \frac{a}{100-b} * 100$$

Masa de emulsión Asfáltica (X):

$$X = \frac{a*b}{d}$$

Masa de agua libre adicional para pre mezcla (Y):

$$Y = \frac{[f-b-\left(\frac{e-c}{d}\right)]}{100}$$

Masa de pérdida de agua para compactación (Z):

$$Z = a * \left(\frac{f-g}{100}\right)$$

Dónde:

**a:** Masa del árido seco

**b:** Porcentaje de agua contenida en el árido seco al aire

**c:** Contenido de asfalto residual deseado (Porcentaje del peso del árido seco)

**d:** Porcentaje residual de asfalto en la emulsión

**e:** Porcentaje de agua en la emulsión = 100 – d

**f:** Porcentaje del contenido de agua de pre mezcla en la mezcla (masa del agregado seco)

**g :** Porcentaje del contenido de compactación (masa del árido seco)

- Adición del agua de pre mezcla: Colocar el árido seco al aire en un bol para mezclar. Calcular el monto de agua libre a ser agregada (Y) necesaria para lograr el contenido óptimo de agua de pre mezcla según lo determinado en el

test de cubrimiento. La temperatura del agua debe ser ajustada a  $22,2 \pm 1,7$  °C previo a la mezcla. Agregar el agua a los áridos secos al aire y mezclar durante 1 minuto o hasta que el agua esté completamente dispersa en el árido.

- Determinar la masa de emulsión asfáltica y registrar. Agregar la emulsión asfáltica en los agregados húmedos lentamente a medida que el material es mezclado. Un tiempo de mezcla de 1 minuto, utilizando mezcladora mecánica, debiera ser suficiente. Un tiempo de mezcla excesivo producirá el desprendimiento del asfalto de los áridos.
- Si el contenido de agua de pre mezcla es mayor al contenido de agua para la compactación, entonces es necesario airear la mezcla para lograr el contenido de agua deseado de compactación. En este caso se debe distribuir la mezcla en un plato de tal forma de que su espesor no supere los 25 mm y registrar la masa del plato y la mezcla. La pérdida de agua requerida para la compactación se calcula utilizando la fórmula definida. Para reducir el contenido de agua es necesario utilizar un ventilador revolviendo cada 10 minutos la mezcla. El contenido de agua a eliminar se logra pesando sucesivamente la masa del plato y la mezcla hasta alcanzar el contenido de agua de compactación deseada.
- Compactación de las muestras: Limpie completamente el molde y la cara de compactación del martillo. Coloque un papel circular en la base del molde antes de introducir la mezcla. Ensamble el molde, coloque toda la mezcla en él y dé con una espátula un acomodamiento de 15 veces a lo largo del perímetro y 10 veces en el interior del molde. Con la espátula, suavice la superficie de la mezcla con suaves movimientos circulares.
- Coloque el molde en el pedestal de compactación y aplique 50 golpes con el martillo de compactación usando una caída libre de 45,72 cm (18 pulg). Remueva el plato de base y el collar, invierta la probeta y vuelva a ensamblar el molde. Aplique 50 golpes más en la otra cara del molde. Remueva el plato de base, el collar y el disco de papel.

- Curado. Cure la probeta con los moldes, durante 24 horas a temperatura ambiente, manteniendo una circulación de aire homogénea por ambos lados de la probeta.
- Saque la probeta del molde y calcule la densidad real de las probetas.
- Resultados. Construya un gráfico densidad real versus contenido de fluidos. El contenido de fluidos que maximice la densidad de la probeta se selecciona como el contenido óptimo de compactación.
- Si es necesario poseer más datos para el gráfico, realice más ensayos utilizando contenidos adicionales de agua de compactación.
- El contenido óptimo de compactación deber ser utilizado en todos los ensayos a realizar con respecto al contenido óptimo de asfalto residual.

#### **2.10.2.5. Variación del Contenido de Asfalto Residual.**

Para determinar el contenido óptimo de asfalto residual para una combinación de árido y emulsión asfáltica definida, es necesario realizar una serie de ensayos con contenidos distintos de asfalto residual, utilizando los contenidos de agua de pre mezcla y de compactación óptimos definidos anteriormente. Las mezclas son preparadas con incrementos porcentuales unitarios de contenido asfáltico residual, con dos contenidos a cada lado del contenido inicial calculado, logrando como mínimo 5 puntos.

#### **2.10.2.6. Determinación del Contenido Inicial de Emulsión.**

Para la preparación de probetas el procedimiento se realiza de acuerdo a los mismos puntos especificados anteriormente. Pero se definen algunos aspectos específicos que se deben tomar en cuenta en esta etapa.

- Número de muestras: Preparar 6 muestras para cada contenido de asfalto residual.
- Preparación del molde y el martillo
- Preparación de los áridos
- Cálculos
- Adición del agua de mezcla: Notar que el mismo contenido de agua óptimo de compactación es utilizado para todos los contenidos de asfalto. Debido a que el

contenido de asfalto residual aumenta, el contenido total de fluidos en la mezcla aumenta, debido a que la emulsión aumenta.

- De esta forma, el contenido del agua de pre mezcla a incorporar disminuirá a medida que aumenta el contenido de asfalto residual.
- Aireación de las muestras para disminuir el contenido de agua total.
- Compactación de las probetas
- Curado de las probetas: Curar en el molde durante 24 horas a temperatura ambiente, sacar y curar por 24 horas en un horno a 38° C.

**Figura 2.46:** Briquetas Marshall.



Fuente: Propia.

### **2.10.2.7. Procedimiento de Evaluación de Probetas.**

Para completar el procedimiento de diseño, es necesario realizar una serie de ensayos a las probetas compactadas y curadas. Los ensayos son los siguientes:

- a) Densidad Real.
- b) Estabilidad Marshall Modificada y Fluencia de probetas secas a una temperatura de  $22,2 \pm 1,1^{\circ} \text{C}$
- c) Estabilidad Saturada y Fluencia.
- d) Análisis de Huecos y Densidad.
- e) Absorción de Humedad.

### 2.10.2.8. Ensayos de Briquetas en Seco.

La Densidad real se realizara a temperatura ambiente.

#### **Estabilidad Modificada y Fluencia:**

Luego de determinar la densidad de las 6 probetas, para un contenido de asfalto específico, evalúe la estabilidad y la fluencia a tres de ellos. Utilice aquellos que poseen una densidad similar. Se deben considerar los siguientes factores:

- a) La temperatura de la probeta debe mantenerse utilizando un baño de agua.
- b) Durante el ensayo la tasa de deformación debe ser de 50,8 mm (2 pulg) por minuto hasta que la probeta falle.
- c) Registrar la fluencia en unidades de 0,25 mm. (0,01 pulg)
- d) Determinar el contenido de humedad de las probetas posterior al ensayo de fluencia

**Figura 2.47:** Equipo de Dsecación al Vacío.



Fuente: <http://cyberspaceandtime.com/r56MdLgCsnY.video>.

### 2.10.2.9. Ensayos de Briquetas Saturadas.

#### **Estabilidad Saturada y Fluencia:**

Las tres probetas restantes se someterán al ensayo de estabilidad y fluencia luego de ser sometidas a un proceso de desecación al vacío y saturación en agua.

- Cada probeta se coloca en una desecadora al vacío con 100 mm de Mercurio durante un período de una hora.
- Luego se coloca la probeta en agua para su saturación durante 1 hora.
- Realizar el ensayo de estabilidad modificada y fluencia.

**Figura 2.48:** Equipo para el Baño María.



Fuente: Propia.

### **Análisis de Huecos y Densidad:**

Realizar de acuerdo a los siguientes puntos:

- Determine la densidad real seca promedio de todas las probetas con un mismo contenido de asfalto. Elimine los valores que posean más de un 50% de error con respecto al valor promedio.
- Determine el contenido de huecos de acuerdo al procedimiento Marshall.

**Figura 2.49:** Determinación de las Alturas de las Briquetas para la Corrección.



Fuente: Propia.

Los resultados de los anteriores ensayos de la estabilidad, fluencia, huecos, densidad real seca y contenido de humedad se analizaran de la siguiente manera:

- Se corregirá los valores de estabilidad según procedimiento Marshall, cuando sea necesario.
- Se determinara el valor promedio de fluencia y estabilidad corregida para un mismo contenido de asfalto según procedimiento Marshall

**Figura 2.50:** Probeta Sometida a Esfuerzos para Determinar su Estabilidad.



Fuente: Propia.

Con los resultados anteriores se realizara los siguientes gráficos:

- Estabilidad seca y saturada v/s Contenido de Asfalto.
- Porcentaje de pérdida de estabilidad v/s Contenido de Asfalto, para la perdida de estabilidad se calculara con la siguiente formula:

$$\% \text{ de perdida de estabilidad} = \left( \frac{\text{Estabilidad seca} - \text{Estabilidad saturada}}{\text{Estabilidad Saturada}} \right) * 100$$



- Densidad Real Seca v/s Contenido de Asfalto
- Porcentaje de Humedad absorbida v/s Contenido de Asfalto
- Porcentaje total de huecos v/s Contenido de Asfalto
- Flujo de la estabilidad saturada v/s Contenido de Asfalto

En cada gráfico, conectar los puntos por medio de una curva suavizada que se ajuste de mejor forma a cada uno de los resultados.

#### 2.10.2.10. Contenido Óptimo de Asfalto:

A partir de los gráficos se obtiene el valor del contenido de asfalto óptimo necesario del diseño final, tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La diferencia entre la estabilidad seca y saturada no sea excesiva.
- Vacíos totales dentro de un rango entre 4 – 6 %
- Absorción de humedad < 4%.
- Máxima densidad específica Bulk.

#### 2.10.2.11. Criterios de Diseño:

La mezcla con el porcentaje de emulsión de asfalto seleccionado debe cumplir con la totalidad de los criterios de diseño que se presentan en las Tablas 2.4.

Description	Characteristics of CAEMs (Average values)					
	Soaked Stability (kN)	Retained Stability (%)	Dry Bulk Density (gr/cc)	Porosity (%)	Water Abs. (%)	AFT * Micron (µm)
<b>CAEMs using Total Emulsion (100pen) [14]:</b>						
Medium Compaction						
ORAC = 6 % (soaked sample)	15.125	92.137	2.073	12.575	0.647	14.98
Heavy Compaction						
ORAC = 6 % (soaked sample)	17.556	90.676	2.155	9.155	0.494	14.98
<b>Dense Emulsified Bitumen Macadam (100pen) [11]:</b>						
Medium Compaction	-	-	-	18.73	-	-
2 × 50 blows Marshall Hammer						
Heavy Compaction	-	-	-	16.31	-	-
2 × 75 blows Marshall Hammer						
<b>Summary of Specifications [2,5]:</b>						
The Asphalt Institute, 1989, 1997, at 22°C	2.225	50 (min)	-	-	-	-
The MPW-RI, 1990 at room temp. Compactor: Marshall Hammer	3.0	50 (min)	-	5 – 10	4 (max)	8 (min)
						2 × 50 blows Marshall Blows (Medium Compaction)

\* AFT: Asphalt Film Thickness

Fuente: N. A. Thanaya / Review and Recommendation of Cold Asphalt Emulsion Mixtures (CAEMs) Design / CED, Vol. 9, No. 1, 49–56, March, 2007

**TABLA 2.4:** Criterios de diseño para mezclas asfálticas en frío con emulsión.

ENSAYO	MÍNIMO	MÁXIMO
Estabilidad	2224 N (500 lbs)	--
Pérdida de Estabilidad	--	50%
Cubrimiento del árido	50%	--

Fuente: Manual de carreteras ABC v4a

TABLE 4. STATE SPECIFICATIONS FOR MIXTURE TESTING							
STATE	AZ	PA	VA	CO	TX	TN	OH
<b>MARSHALL</b>							
1. Stability		1,800	1,800	1,800			1,800
2. Flow		6-16	6-16	6-16			6-16
3. Voids, %				4-6			
Hveem Stability, min.				35	35*		
Note: Several other States (OK, NB, KS, ND) specify requirements for component materials, but do not specify any requirements for mixture							

**RECOMMENDED PERFORMANCE GUIDELINES FOR MICRO-SURFACING ISSA 2000**

Slurry Seal	Micro-Surfacing
Compatibility Test VTM -60	Certification of compatibility of Latex, Aggregate and Emulsion
Wet-Track Abrasion VTM-14 (WTAT) Wear loss not greater than 75 gr/ft <sup>2</sup>	Marshall Test Stability: 1800 lbs minimum Minimum Flow: 6 – 16 units VTM: 4.7% leveling and finish, 6.5% rutfill

Fuente: SLURRY SURFACING CERTIFICATION STUDY GUIDE "Virginia Department of Transportation" 2011

La elección del valor óptimo se basa en los siguientes criterios:

- La mezcla debe proporcionar una estabilidad adecuada en una condición “húmeda” para proporcionar una resistencia adecuada a la carga de tráfico durante las estaciones húmedas.
- El total de vacíos debe estar dentro de un rango aceptable para prevenir la deformación permanente excesiva y la absorción de humedad o exudación del asfalto residual de la mezcla.
- El porcentaje de pérdida de estabilidad de la mezcla en condición “húmeda” no debe ser excesiva.

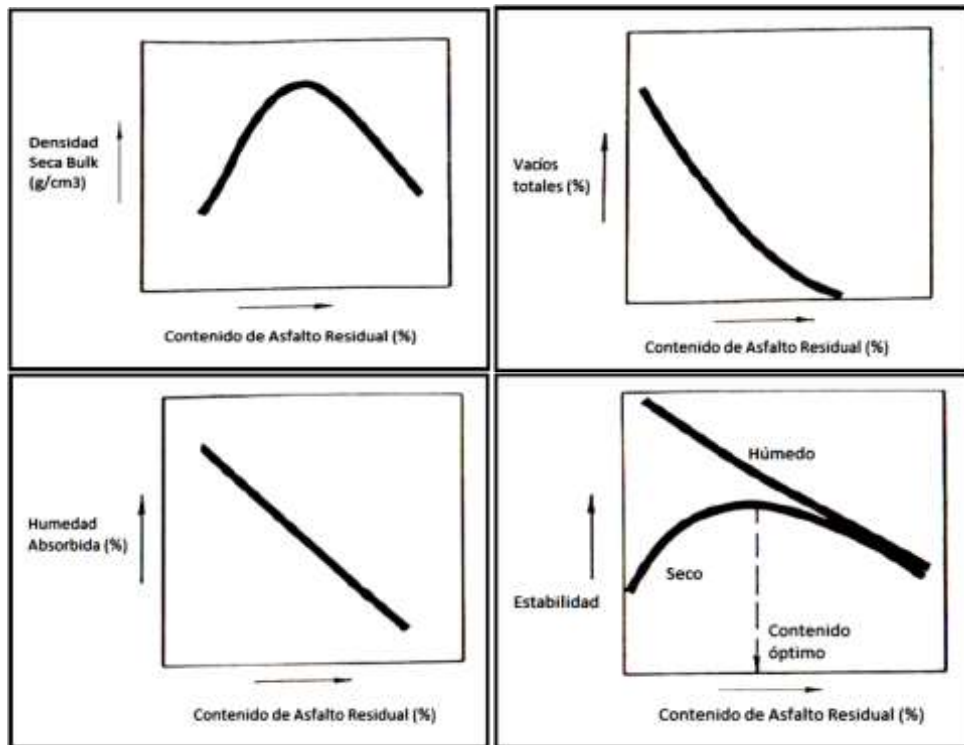
- La absorción de humedad en la mezcla no debe ser excesivo para minimizar el potencial de debilitamiento de la unión entre el asfalto residual y el agregado.

El contenido óptimo de asfalto residual es elegido como el valor que proporciona la estabilidad húmeda máxima, siendo ajustado ese valor dependiendo de la humedad absorbida, % pérdida de estabilidad, los vacíos totales. Este valor debe cumplir con los requisitos mínimos de estabilidad. Si uno o más criterios no se cumplen, la mezcla es considerada inadecuada.

Si no hay ningún pico en la gráfica contenido de asfalto residual vs la Estabilidad húmeda u otras propiedades desarrolladas, el contenido óptimo de emulsión se establece sobre la base de las mejores combinaciones de propiedades tales como la estabilidad Marshall, el porcentaje de pérdida de estabilidad y la densidad seca, con especial atención a los efectos del agua sobre las propiedades de las muestras.

#### 2.10.2.12. Tendencias de los Gráficos Resultantes.

Las curvas típicas obtenidas deben tener las siguientes tendencias:



- a) Estabilidad saturada generalmente mostrará un pico para un contenido particular de asfalto residual mientras que la estabilidad seca generalmente mostrará un decrecimiento continuo a medida que el contenido de asfalto residual aumenta.
- b) El porcentaje de pérdida de estabilidad generalmente decrece a medida que el contenido de asfalto residual aumenta.
- c) La densidad real seca usualmente presenta un pico para un contenido particular de asfalto residual.
- d) El porcentaje de humedad absorbida durante la saturación de la probeta decrece a medida que el contenido de asfalto aumenta.
- e) El % total de huecos decrece a medida que el contenido de asfalto aumenta

## **2.11. Marco Normativo.**

### **Norma Nacional:**

- Manual de carreteras ABC. v4a.

### **Normas Internacionales**

- ISSA 143a.
- NCHRP Synthesis 411 - Microsurfacing - A Synthesis of Highway Practice, 2010.
- Especificaciones técnicas generales de construcción, Chile - vol. 5
- Instituto de Asfalto MS-19.

**CAPÍTULO III**  
**DESARROLLO DE LA**  
**METODOLOGÍA**

### **CAPÍTULO III**

## **DESARROLLO DE LA APLICACIÓN DEL DISEÑO DE MICRO SUPERFICIES ASFÁLTICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBE.**

En muchos países la ingeniería es un campo de constante innovación en el que se busca soluciones con nuevas opciones, métodos y materiales con característica mejoradas por la combinación con otros, con el propósito hallar una solución efectiva a los problemas que presentan nuestros pavimentos, para un mejor rendimiento, mayor eficiencia, sea económica, menor tiempo en el proceso constructivo y con efectos mínimos al medio ambiente.

### **3.1. Elección del Tramo Vial para la Aplicación de la Micro superficie.**

El departamento de Tarija cuenta con dos carreteras fundamentales que nos comunican con el resto del país, al occidente con la carretera al norte y al oriente con la carretera al chaco; la carretera al norte tiene un tiempo de uso de cinco años aproximadamente durante el cual se realizó el mantenimiento con micro superficies , en todo el tramo que comprende desde el cruce a San Lorenzo hasta el túnel de la falda la Queñua, con el propósito de mejorar las condiciones de la carretera; sin embargo la carretera al Chaco ruta de vital importancia para el departamento cuenta con muchos años de servicio, la necesidad de conocer las condiciones del pavimento de la carretera para realizar un mantenimiento dependiendo de su condición, y proponer el tipo de actividad a realizarse en esta estructura vial y asegurar la continuidad de su servicio, la actividad preliminar es determinar la condición de su estado actual, la condición es el resultado de una evaluación que realizara a la carretera Tramo “ Puente Carlaso hasta Puente Jarcas”.

#### **3.1.1. Características del Tramo de Mantenimiento.**

#### **3.1.2. Antecedentes.**

El “Estudio de Índice de condición del Pavimento (PCI) Carretera al Chaco Tramo Puente Carlaso hasta el puente Jarcas”, este índice es considerado como el método para determinar la condición de un pavimento y definir el tipo de mantenimiento a realizarse

al tramo, este tramo vial fue construido en el año 2007 por la Empresa Constructora “ERIKA”, en la actualidad tiene 9 años de servicio.

Por el tiempo de servicio que tiene este tramo, conocer la condición de su estado para definir las actividades de mantenimiento para conservarla por más tiempo, en condiciones seguras para la transitabilidad, que influirá directamente al desarrollo de las poblaciones que se encuentran a lo largo de la ruta y por lo general al departamento de Tarija debido a los siguientes factores:

- a) La necesidad de integración que tiene el Departamento de Tarija, y permitir vincular con las provincias y demás Departamentos del país.
- b) Las restricciones y dificultades de la carretera, debido a las características actuales y prevenir el deterioro del paquete estructural del pavimento.
- c) La urgencia de mejorar las condiciones de eficiencia para los usuarios y beneficiarios.
- d) Incrementar la vida útil de la carretera.
- e) Evitar situaciones de riesgo para los usuarios.
- f) Como también reducir los costos de: mantenimiento de operación de los usuarios y el mantenimiento de la carretera en el futuro inmediato.

Para aplicar una técnica de mantenimiento de su superficie al tramo, se deben realizar estudios preliminares para conocer ciertos datos que nos permitirán seleccionar la técnica más apropiada que mejore las condiciones y características del tramo, la elección requiere información como: la condición actual del pavimento a ser tratado, verificar las condiciones superficiales que presenta, condiciones de tráfico a las que estará sometido, tránsito promedio diario anual (TPDA), proyección de crecimiento a futuro (tráfico esperado), y las condiciones ambientales predominantes en la zona.

### 3.1.3. Ubicación Geográfica.

Geográficamente el proyecto inicia en el puente del Río Carlaso (Para este trabajo punto de inicio Prog. 00+000) en las coordenadas geográficas  $21^{\circ}28'49.58''$  de Latitud Sur y  $64^{\circ}30'32.81''$  de Longitud Oeste; y finaliza en el puente de Jarcas (Prog 3+151) en las coordenadas geográficas  $21^{\circ}27'23.86''$  de Latitud Sur y  $64^{\circ}29'45.43''$  de Longitud Oeste.

**Figura 3.1:** Tramo de estudio del estado del pavimento.

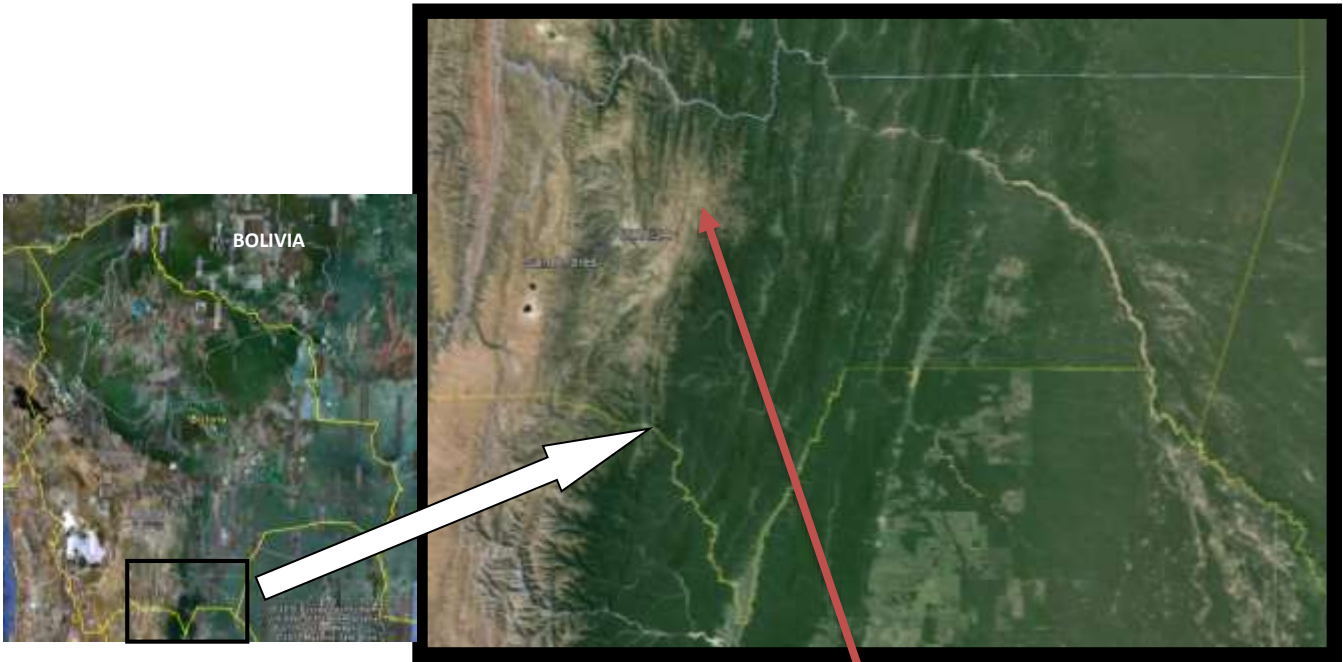


Fuente: Google Earth 2016



Políticamente el proyecto pertenece a la Provincia de Cercado del Departamento de Tarija – Bolivia.

Figura 3.2: Ubicación política del tramo de estudio.



Fuente: Google Earth 2016

Carretera al Chaco



Fuente: Google Earth 2016

### 3.1.4. Información del Pavimento Existente<sup>11</sup>

La carretera en estudio forma parte de la red nacional, denominada como Ruta- 11.

El tramo de estudio comprendido entre Puente de Carlaso – Puente Jarcas se encuentra con una capa de rodadura conformada por una carpeta Asfáltica que fue construido por la Empresa Constructora “ERIKA” y supervisado por la A.B.C. en el periodo 2007 y 2008.

De acuerdo a la información que fue recolectada de los informes técnicos de avance de obra, este tramo ha sido construido inicialmente con los siguientes parámetros:

Ancho de carril	3.5 metros.
N° de Carriles	2
Ancho de Berma	1.0 metro a cada lado, tratamiento superficial simple.
Ancho de Plataforma	9.0 metros
Capa de Rodadura	Carpeta Asfáltica de 5 cm.
Capa Base	0.15 metros de espesor
Capa Sub base	0.20 metros de espesor
C.B.R. subrasante mejorada	(no se encontraron registros)
Coeficiente estructural $a_2$ adoptado en la construcción	(no se encontraron registros)
Coeficiente estructural $a_3$ adoptado en la construcción	(no se encontraron registros)
Serviciabilidad final:	(no se encontraron registros)

Así mismo se conoce, por lo conversado con personal que trabajo en la construcción de la carretera que se mejoró el soporte estructural de la sub rasante con material del rio de Santa Ana.

---

<sup>11</sup> Información proporcionada por ABC Tarija. Estudios y Proyectos.2016

### 3.1.5. Datos del Tramo:

- **Tipo de Terreno:** El terreno del tramo y por inspección visual realizado se define de la siguiente manera:
  - El tramo presenta un terreno de material compuesto de material arcilloso, de color gris a amarillo opaco con características de formación por la acumulación de sedimentos y en ciertos sectores estratos de concreto natural y roca.
- **Clima:**

**Tabla. 3.1.** Datos de temperatura y Precipitación

Temperatura (°C)			Precipitación (mm)	
Mínima	Media	Máxima	Media anual	Máxima
5	21	27	500	62

Fuente: SENAMHL. Tarija estación pluviométrica Santa Ana 2009

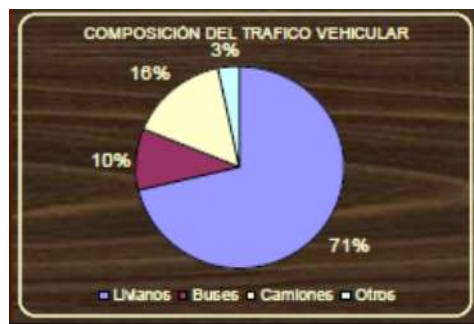
- **Ancho Calzada y de Carril:**
  - La carretera al Chaco tiene la siguiente dimensiones:

**Tabla. 3.2.** Datos de la vía de estudio

Nº	Ancho de Calzada	Ancho de Carril	LONGITUD	
	(m)	(m)	De la Prog.	Hasta la Prog.
1	7	3,5	0 + 00	3 + 151

- **Longitud del Tramo en Estudio:** Longitud total de 3151 m.
- **Tránsito de Vehículos Tramo Tarija-Villa Montes<sup>12</sup>**

Volúmenes Promedio De Tráfico Vehicular	
<b>Año 2006</b>	855 vehíc/día.
<b>Año 2010 =</b>	1094 veh/día.
<b>Año 2015 =</b>	1671 veh/día.
<b>Promedio de Pasajeros =</b>	2600 pas/día.
<b>Promedio de Carga =</b>	101 Tn/día.
<b>Prom. de Vel. de Circulación =</b>	101 km/hora.



Fuente: PLAN VIAL DEPARTAMENTAL “GOBIERNO AUTÓNOMO DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA” 2012

<sup>12</sup> PLAN VIAL DEPARTAMENTAL “GOBIERNO AUTÓNOMO DEL DEPARTAMENTO DE TARIJA” 2012

### 3.2 Evaluación Método PCI Tramo “Puente Carlaso-Puente Jarcas”

La evaluación de condición del pavimento (PCI) del tramo en estudio se realizó como la sección 01 que inicia en el “Puente Carlaso” como el inicio del tramo prog. 00+000 hasta la progresiva 03+151, donde concluye en el “Puente de Jarcas”, para la evaluación se determinó el número total de muestras y luego el número de muestras a ser evaluadas, y cada muestra está conformado por ambos carriles de la carretera.

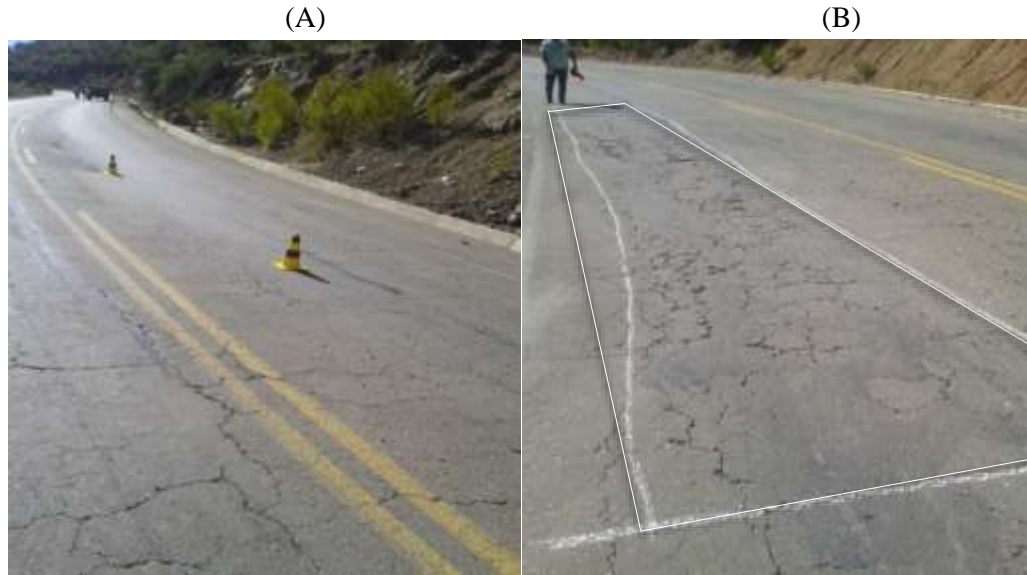
**Figura 3.3:** Ubicación de las Muestras de Evaluación.



Fuente: Google Earth 2016

El proceso del PCI del tramo se detalla en el ANEXO I.

**Figura 3.4.** (A) Conos Para Prevenir la Precaución de Vehículos en Tránsito 50 m. Antes  
(B) Delimitación de una Falla



**Figura 3.5.** (C) Medición de Fallas, (D) severidad Baja de la Falla de Pulimento.



**Figura 3.6.** (E) Desgaste por pulimento del pavimento, (F) Registro de fallas

(E) (F)



Fuente: Propia

### 3.2.1. PCI del Tramo: “Puente Carlaso - Puente Jarcas”

**Tabla 3.3.** PCI de las Muestras Evaluadas.

N° Muestras	PCI	CONDICION
7	60	BUENO
14	36	(POBRE)
21	28	(POBRE)
28	66	(BUENO)
35	66	(BUENO)
42	56	(BUENO)
49	52	(REGULAR)
56	56	(BUENO)
63	36	(POBRE)
70	68	(BUENO)
77	66	(BUENO)
84	61	(BUENO)
91	66	(BUENO)
96	62	(BUENO)

### Índice de Condición del Pavimento Final

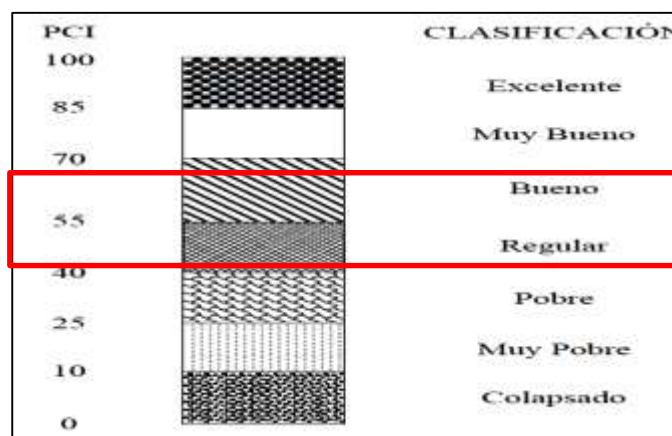
$$PCI = 56 \%$$

**CONDICIÓN = BUENA**

### 3.3. Procedimiento de la Metodología

El PCI determinado para el tramo Puente Carlaso hasta Puente Jarcas, es de 56%, esta es la clasificación numérica de su nivel de estado de la carretera con condición buena según la escala de PCI según la ASTM.

**Tabla 3.4.** Escala de PCI sugerida por ASTM 6433-11.



Fuente: MANUAL DE MANTENIMIENTO y REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES. Caracas Venezuela 1993.

### 3.3.1 Condiciones Actuales del Pavimento.

El tramo puente “Carlaso-puente Jarcas” de la carretera al chaco, es parte de la red fundamental y es administrada por VIAS BOLIVIA, al ser una carretera principal, por está circula un tráfico intenso ( $TPDA > 1500$ ), por las condiciones actuales esta carretera se considera con una eficiencia media en su servicio. La severidad de las fallas desde baja a media y alta en casos aislados y son las siguientes: grietas longitudinales y transversales, desgaste de agregados, peladuras hasta agrietamiento tipo piel de cocodrilo. Las fallas más frecuentes en la carpeta son resultado de la abrasión mecánica, oxidación del asfalto y intemperismo, influyendo en su nivel de servicio, estas fallas si no se tratan incrementarían su nivel de severidad en un corto tiempo. Los daños observados a través de la evaluación de su condición del tramo estudiado de las muestras evaluadas se describen en el Tabla 3.5.

**TABLA 3.5.** Tipo de Fallas

Nº DE FALLAS SEGÚN SU TIPO		
FALLA	TIPO DE FALLA EN PAVIMENTO FLEXIBLE	Nº DE FALLAS
1	Grietas de piel de cocodrilo	23
2	Exudación del Asfalto	-
3	Grietas de contracción (bloque)	28
4	Elevaciones - Hundimientos	6
5	Corrugaciones	13
6	Depresiones	-
7	Grietas de borde	-
8	Grietas de reflexión de juntas	4
9	Desnivel carril - berma	-

10	Grietas longitudinales y transversales	24
11	Parqueo	4
12	Agregados pulidos	34
13	Huecos	8
14	Acceso a puentes - rejillas de drenaje	-
15	Ahuellamientos	-
16	Deformación por empuje	-
17	Grietas por deslizamiento hinchamiento	-
18	Disgregación y desintegración	2
	<b>TOTAL DE FALLAS =</b>	<b>146</b>

### 3.4. Procedimiento de Diseño de la Técnica de Micro Superficies Asfálticas

- Caracterización de materiales
- Diseño Método Marshall modificado para mezclas en frío con emulsión.

#### 3.4.1 Ensayos de Caracterización de Materiales

##### 3.4.1.1. Ensayos de Agregados

El agregado fino fue proporcionado por la Planta Trituradora de agregados de la empresa constructora “ERIKA”, que se encuentra al margen derecho sobre la carretera hacia el norte, aproximadamente a 9 km de la ciudad de Tarija en la provincia Méndez.

**Fig. 3.7:** Planta de Agregados Triturados “ERIKA”SRL.



Fuente: Google Earth 2016

**Fig. 3.8:** Banco de Agregado Fino “ERIKA”SRL.

**Fig. 3.9:** Arena Triturada





Fuente: Propia

La evaluación para determinar sus características de aptitud del agregado para la técnica se determinaran mediante ensayos, en los laboratorios de suelos y asfaltos del “Servicio Departamental de Caminos” SEDECA Tarija.

**Fig. 3.10:** Edificio del Servicio Departamental de Caminos de Tarija



Fuente: Propia.

Para la fabricación de la mezcla asfáltica con emulsión, los agregados finos deben cumplir especificaciones mínimas y máximas, con respecto a sus características y propiedades físicas y químicas, que se encuentran descritas en las normas internacionales como: A.S.T.M., A.A.S.T.H.O. y I.S.S.A.

**TABLA 3.6.** ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS

AASHTO TEST NO.	ASTM TEST NO.	QUALITY	SPECIFICATION
AASHTO T176	ASTM D2419	Sand Equivalent	65 Minimum
AASHTO T104	ASTM C88	Soundness	15% Maximum using $Na_2SO_4$ or 25% Maximum using $MgSO_4$
AASHTO T96	ASTM C131	Abrasion Resistance	30% Maximum

Fuente: Recommended Performance Guidelines For Micro-Surfacing A143 (Revised) January 2001

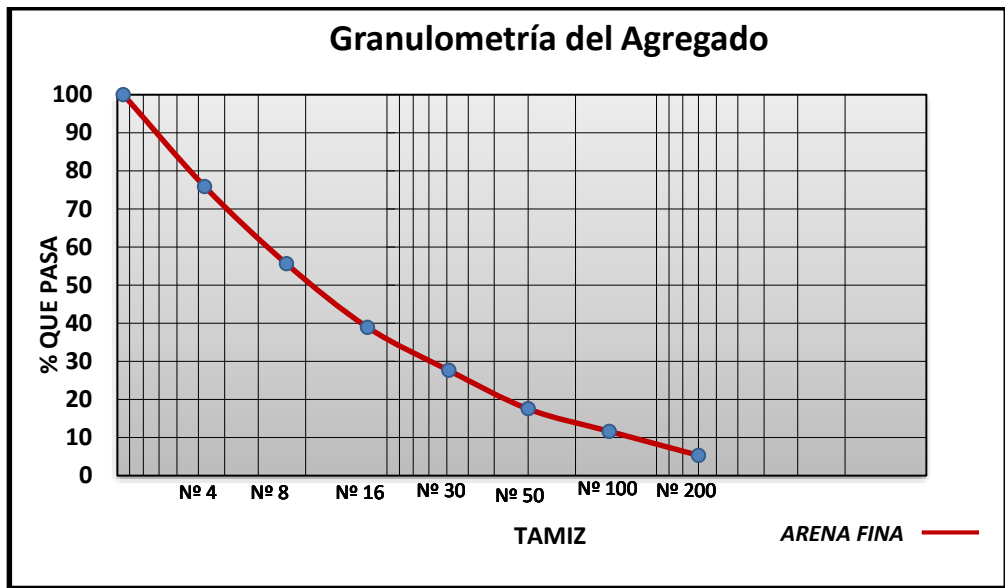
A la tabla de especificaciones se agrega el ensayo de peso específico, datos de importancia para realizar los ensayos de evaluación de la técnica, el diseño se inicia con la caracterización de los agregado, luego la emulsión, llenante mineral y el aditivo, el procedimiento se realizó de la siguiente manera para cada uno de los ensayos (las planillas de resultados y procedimiento de cálculo se encuentran en el ANEXO II):

#### 3.4.1.2. Ensayo de la Granulometría (A.S.T.M. C136, A.A.S.T.H.O. T27):

**Tabla 3.7.** Resultados de la Granulometría del agregado.

Peso Total (gr.) = 1000		A.S.T.M. C- 136	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	% Que Pasa del Total
3/8"	9,5	0	100
Nº4	4,75	241	75,9
Nº8	2,36	203	55,6
Nº16	1,18	167	38,9
Nº30	0,59	113	27,6
Nº50	0,3	101	17,5
Nº100	0,15	59	11,6
Nº200	0,07	63	5,3
	<b>BASE</b>	53	

**Gráfica 3.1.** Curva Granulométrica del agregado Fino.



**Figura 3.11.**Material Cuarteado.



**Figura 3.12.** Secando en la hornalla.



**Figura 3.13.**Muestras retenidas.



**Figura 3.14.** Retenido en N° 200.



Fuente: Propia.

**3.4.1.3. Ensayo de Caras Fracturadas (ASTM D 5821-95):**

**Tabla 3.8.** Resultados del Ensayo caras fracturadas.

MUESTRA N°	Caras fracturadas %	Especificación ASTM D 5821-95 (Mínimo)
1	86%	100 %

**Figura 3.15.**Muestra Retenida Tamiz N°4



**Figura 3.16.** Partículas > a 2 caras fracturas.



**3.4.1.4. Ensayo Equivalente de Arena (A.S.T.M. D2419, A.A.S.T.H.O.T176):**

**RESULTADOS**

**Tabla 3.9.** Resultados del Ensayo Equivalente de Arena

PROBETAS N°	EQUIVALENTE DE ARENA %	Especificación ASTM D2419 (Mínimo)
1	81 %	65%
2	85 %	65%
3	80 %	65%

Fuente: Propia.

**Promedio Equivalente de Arena = 82 %**

**Figura 3.17.** Equipo.



**Figura 3.18.** Solución



**Figura 3.19.** Llenado.



**Figura 3.20.** Vertido del Material.



Fuente: Propia.

**Figura 3.21.** Se quitó el Tapón.

**Figura 3.22.** Movimientos Oscilatorios.



**Figura 3.23.** Paredes limpias.



**Figura 3.24.** Reposo de 20 min.



Fuente: Propia.



### **3.4.1.5. Ensayo de Resistencia al Desgaste (A.S.T.M. C131, A.A.S.T.H.O. T96): RESULTADOS**

**Tabla 3.10.** Resultados del Ensayo de Desgaste.

	GRADACIÓN	% Desgaste	Especificación ASTM C-131 (Max)
<b>C</b>	<b>3/8 - 1/4</b>	18,26%	30%
	<b>1/4 - N° 4</b>		
<b>D</b>	<b>N° 4 - N°8</b>	20,52%	30%
<b>Promedio =</b>		<b>19,4 %</b>	

**Figura 3.25.** Especificación

**GRADACIONES PARA ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ANGELES AASTHO T-96**

GRADACION	PASA	RETIENE	PESO (g)	REVOLUCION TIEMPO
A(12)	1 1/2"	1"	1250	500 rpm 18 min
	1"	3/4"	1250	500 rpm 18 min
	3/4"	1/2"	1250	500 rpm 18 min
	1/2"	3/8"	1250	500 rpm 18 min
B(15)	3/4"	1/2"	2500	500 rpm 18 min
	1/2"	3/8"	2500	500 rpm 18 min
C(30)	3/8"	1/4"	2500	500 rpm 18 min
	1/4"	1/8"	2500	500 rpm 18 min
D(60)	1/8"	1/16"	5000	500 rpm 18 min
	1/16"	1/32"	2500	1000 rpm 18 min
E(100)	1/16"	1/32"	2500	1000 rpm 18 min
	1/32"	1/64"	1000	1000 rpm 18 min

**Figura 3.26.** Material y Equipo



**Figura 3.27.** Máquina de los Ángeles



**Figura 3.28.** Extracción del Material



**Figura 3.29.** Material Desgastado

**Figura 3.30.** Cuantificación de la Muestra



Fuente: Propia.

### 3.4.1.6. Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado Fino.

#### RESULTADOS.

**Tabla 3.11.** Resultados del Ensayo de Peso Específico y Absorción del Agregado.

PROBETAS N°	PESO ESPECÍFICO (gr/cm <sup>3</sup> )	ABSORCIÓN (%)
1	2,756	2,49
2	2,78	2,39
3	2,759	2,56
<b>PROMEDIO =</b>	<b>2,701 gr/cm<sup>3</sup></b>	<b>2,48 %</b>

**Figura 3.31.** Extendido de Material

**Figura 3.32.** Proceso de Secado



Fuente: Propia.

**Figura 3.33.** Proceso Compactación

**Figura 3.34.** Cono de Arena





**Figura 3.35.** Vertido de Material y Pesado



**Figura 3.36.** Muestra más Agua



**Figura 3.37.** Picnómetro + Agua + Muestra



**Figura 3.38.** Control de Temperatura.



Fuente: Propia.



**3.4.1.7. Ensayo de Durabilidad del Agregado Fino a la Desintegración por Sulfatos (ASTM E 88)**

**RESULTADOS.**

**Tabla 3.12.** Resultados del Ensayo de Durabilidad por Acción de Sulfatos.

Granulometría			Peso Materiales		% Pérdida Respecto Muestra Total
Tamiz Nº	Tamiz Pasa	Tamiz Retenido.	Antes del Ensayo (gramos)	Después Ensayo (gramos)	
3/8"	3/8"	Nº 4	100	99,6	0,05
Nº 4	Nº 4	Nº 8	100	99,2	0,19
Nº 8	Nº 8	Nº 16	100	99,3	0,14
Nº 16	Nº 16	Nº 30	100	97,3	0,48
Nº 30	Nº 30	Nº 50	100	93,2	1,72
Nº 50	Nº 50		100		
<b>TOTAL % PÉRDIDA DE PESO =</b>					<b>2,54%</b>

**Figura 3.39.** Muestras por Cada Tamiz



**Figura 3.41.** Sulfato de Sodio



**Figura 3.40.** Materiales Utilizados



**Figura 3.42.** Agua a 25° C



**Figura 3.43.** Preparado de la Solución



**Figura 3.44.** Pesado para Obtener la Densidad



Fuente: Propia.

**Figura 3.45.** Solución de Sulfato de Sodio **Figura 3.46.** Muestra con la Solución



**Figura 3.47.** Muestra Sumergida Ciclo 1 **Figura 3.48.** Secado de la Muestra fin del Ciclo1



**Figura 3.49.** Peso de la Muestra Final

**Figura 3.50.** Muestra Después del Ensayo



Fuente: Propia.

### 3.4.2. Caracterización de la Emulsión Asfáltica

La emulsión asfáltica catiónica “Emulex” modificada con polímero SBR estireno butadieno de rubber de alta viscosidad, RR- 2C de ESTRATURA industria Brasileira.

**Figura 3.51.** Emulsión Asfáltica Modificada



**3.4.2.1. Ensayo de Residuo por Evaporación (A.S.T.M. D244, A.A.S.H.T.O. T59):**

**RESULTADOS.**

**Tabla 3.13.** Resultados del Ensayo Residuo por Evaporación.

Muestras	Peso de la Emulsión + Tara + Agitador (gr)	Peso del Residuo de Asfalto (grs.)	Porcentaje del Contenido de Agua en la Emulsión (%)	Porcentaje del Contenido de Asfalto en la Emulsión (%)
1	97	39,5	34	65,8
2	97	38,95	35	64,9
3	97	40	33	66,7
<b>PROMEDIO =</b>				<b>65,8</b>

**Figura 3.52.** Emulsión en el recipiente



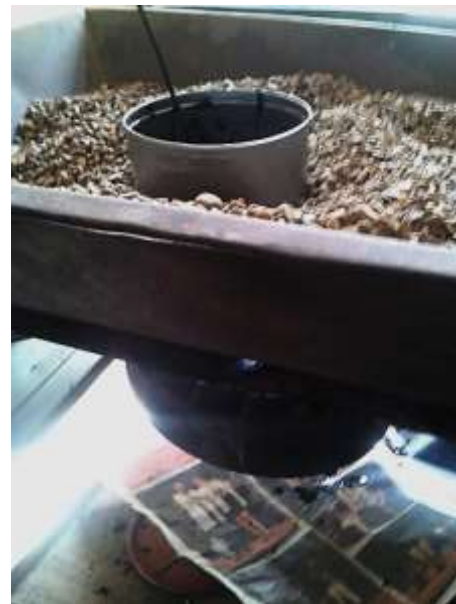
**Figura 3.53.** Peso de la muestra



**Figura 3.54.** Muestra en la hornalla



**Figura 3.55.** Perdida de humedad de la muestra



**Figura 3.56.** Muestra sin solventes



**Figura 3.57.** Peso del residuo Asfáltico



Fuente: Propia.

**3.4.2.2. Ensayo de Penetración (ASTM D 5, AASHTO T49-97):**

**RESULTADOS.**

**Tabla 3.14.** Resultados del Ensayo de Penetración.

ENSAYO N°	(mm)	Especificación AASHTO T49
1	131	100- 200
2	135	100 - 200
3	130	100 -200
<b>MEDIA</b>	<b>132</b>	

**Figura 3.58.** Penetro metro



**Figura 3.59.** Muestra de residuo de la Emulsión



### 3.4.2.3. Ensayo de Viscosidad (A.S.T.M. D244, A.A.S.H.T.O. T59):

#### RESULTADOS:

Tabla 3.15. Resultados del Ensayo de Viscosidad.

Nº Muestras	Peso de la muestra (gramos)	Tiempo (segundos)	Especificación ASTM D 88 (segundos.)
1	60	256	(100 - 400)
2	60	258	(100 - 400)
3	60	259	(100 - 400)
PROMEDIO =		<b>258 Segundos</b>	

Figura 3.60. Emulsión a 50° C



Figura 3.61. Tubo del viscosímetro lleno



Figura 3.62. Viscosímetro Saybolt Furol



Figura 3.63. Emulsión pasando el Tamiz N°20



**Figura 3.64.** Ensayo en proceso



**Figura 3.65.** Tiempo de ensayo a 50° C



Fuente: Propia.

#### 3.4.2.4. Ensayo de Peso Específico. (A.S.T.M. D70, A.A.S.H.T.O. T59):

##### RESULTADOS:

**Tabla 3.16.** Resultados del Ensayo de Peso Específico de la Emulsión.

PROBETA N°	Peso Específico de la Emulsión (gramos/cm <sup>3</sup> )
1	1,002
2	1,004
3	1,002
<b>PROMEDIO =</b>	<b>1,003</b>

**Figura 3.66.** Peso del picnómetro vacío



**Figura 3.67.** Peso del picnómetro + agua. a 25°C





**Figura 3.68.** Muestra de Emulsión Asfáltica **Figura 3.69** Baño María de la emulsión a 25°C.



**Figura 3.70.** Peso del picnómetro + emulsión asfáltica



Fuente: Propia.

**3.4.2.5. Retenido en la Malla N° 20 (AASHTO T59-01, ASTM D244-00):**

**RESULTADOS:**

**Tabla 3.17.** Resultados del Ensayo de Material Retenido en la Malla N°20.

Nº Muestras	Peso de la muestra Inicial (grs)	Porcentaje Retenido (%)	Especificación ASTM D 88 (%)
1	60	0,0516667	≤ 0,1
2	70	0,0657143	≤ 0,1
3	80	0,05125	≤ 0,1
<b>PROMEDIO =</b>		<b>0,056%</b>	<b>≤ 0,1</b>

Fuente: Propia.

**Figura 3.71.** Vaso precipitado utilizado



**Figura 3.72.** Emulsión por el tamiz N°20



Fuente: Propia.

### 3.4.3. Caracterización del Relleno Mineral.

#### 3.4.3.1. Granulometría del Cemento Portland: (AASHTO T37-ASTM D546)

**Tabla 3.18.** Resultados del Ensayo de Granulometría del cemento Portland Tipo I.

Tamiz	Retenido Parcial (gr.)	% Retenido Parcial	% que pasa	Especificación ASTM 546-99 (% que pasa)
N° 30	-	-	100	100
N° 50	16,4	8,2	91,8	95 - 100
N° 200	24	12	79,8	70 - 100
Base	159,6	79,8		

**Figura 3.73.** Juego de Tamices y retenidos en cada malla.



Fuente: Propia.

#### **3.4.4. Caracterización del Aditivo Químico.**

El aditivo utilizado para retardar y controlar en tiempo de rotura de la mezcla es el sulfato de aluminio (figura 3.74) en polvo, al 75% de pureza.

La cantidad de aditivo varía entre el 0% y el 2% sobre el volumen de la emulsión.

**Figura 3.74.** Aditivo Sulfato de Aluminio al 75% de pureza



Fuente: Propia.

#### **3.4.5. Caracterización del Agua de Mezclado.**

No se especifican parámetros para determinar la calidad del agua la calidad del agua se determina en el proceso de diseño, si ocasionan dificultades en el mezclado y rotura de la micro superficie. Para el diseño se utilizara el agua potable de laboratorio.

#### **3.5. Proceso de Diseño Experimental de Diseño por el Método ISSA.**

El diseño de la lechada asfáltica de las micro superficies está dirigido al mantenimiento superficial de la Carretera al Chaco del Tramo “Puente de Carlaso – Puente Jarcas”; el resultado de la evaluación de estado con un PCI = 56 %, y las fallas que presenta en todas las muestras del tramo son: desgaste de agregados, pulimento de la carpeta, también existen fallas de superficie como: baches, fisuraciones transversales y longitudinales, etc.; que deben ser tratadas con sus respectivas técnicas particulares de rehabilitación.

Por las condiciones del tramo y el objetivo de este trabajo de diseñar una mezcla asfáltica para realizar un mantenimiento al tramo y mejorar su condición actual.

Los componentes de la mezcla son:

**Figura 3.75.** Componentes de las micro superficies.



Fuente: Propia

### 3.5.1 Características de Calidad del Agregado

El agregado fino para el diseño, según los ensayos realizados cumple con el rango de especificación (ANEXO II) con los requerimientos de calidad (Tabla 3.19), los resultados de ensayos realizados a los agregados son los siguientes:

**TABLA 3.19.** Resultados de los Ensayos del Agregado Fino

Norma AASHTO	Norma ASTM	CUALIDAD	ESPECIFICACION	Resultados de los Ensayos
AASHTO T27	ASTM C-136	Granulometría	Tipo III	Tipo III
		% Humedad	-	1,34%
-----	ASTM D 5821- 95	Caras Fracturadas	100 %	86%
AASHTO T176	ASTM D2419	Equivalente de arena	65 % Mínimo	82,30%
AASHTO T104	ASTM C88	Durabilidad	15% Maximum using: NA2SO4	3%
AASHTO T96	ASTM C131	Abrasión	Resistencia 30% Máximo	18%
AASHTO T84	ASTM C128	Peso específico	-	2,701 gr/cm3
		% Absorción	-	2,48%

Fuente: ISSA.

### 3.5.2 Emulsión Asfáltica.

La emulsión asfáltica modificada con polímero SBR proporcionada por la empresa CTC. Vías de la ciudad de Santa Cruz. La emulsión modificada es de industria Brasileira de la Fabrica ESTRATURA el nombre de la emulsión es EMULEX RR 2C (RR= Rotura Rápida, 2C= Alta viscosidad y Catiónica) sus características se describen en su especificación. (ANEXO II). Los ensayos realizados a la emulsión asfáltica se detallan en la tabla 3.20.

**TABLA 3.20.** Resultados de los Ensayos de Caracterización de la Emulsión Asfáltica.

Ensayo	Descripción	Resultado	Especificaciones
ASTM D 244-00	Residuo de Asfalto por Evaporación	65,78	> 62
ASTM D 2397	Penetración	132	100 - 200
ASTM D 244-00	Viscosidad Saybolt Furol	258	100 - 400
ASTM D 244 - 00	Retenido en Tamiz N°20	0,056	< 0,01
ASTM D 70	Peso específico	1,003	-

Fuente: ISSA.

### 3.5.3. Filler.

Por los resultados de la granulometría realizada, los finos se encuentran dentro de los parámetros con un 5% - 8,06%, en caso necesario se incrementara a este porcentaje según requerimiento con cemento Portland normal.

### 3.5.4. Agua.

El agua a utilizar será agua potable del laboratorio, en la cantidad requerida al que se agregara el porcentaje de humedad natural del agregado y el agua que contiene la emulsión, resultado del ensayo de residuo asfáltico.

### 3.5.5. Aditivos.

Por el tipo de emulsión que utilizaremos de rompimiento rápido (RR) el aditivo a usar será un retardador en el tiempo de rotura de la emulsión para efectuar un correcto mezclado de los materiales para obtener una mezcla con el tiempo necesario para su aplicación en obra (buena consistencia, tiempo óptimo de mezclado, tiempo de rotura), como aditivo retardador en el tiempo de rotura se utilizara el sulfato de aluminio al 75

% de pureza, en el porcentaje de 0,1% - 0,5% que será determinado por tanteos, para obtener un tiempo de mezclado mayor a 120 segundos.

### **3.5.6. Dosificación**

El procedimiento utilizado para determinar las proporciones de los componentes para la mezcla de micro superficies asfálticas se basa en la propuesta por la International Slurry Surfacing Association ISSA, en base a las especificaciones descritas TB ISSA A 143.

Las especificaciones “Recommended Performance Guidelines For Micro- Surfacing”, es el método más utilizado para el diseño de micro superficies. La recomendación describe una guía del desempeño esperado para esta técnica de las micro superficies, y establece los requerimientos que debe cumplir la mezcla y los ensayos que deben de realizarse, pero no establece una metodología para obtener la mezcla final de la micro superficie, el procedimiento para el diseño se utilizará el MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO CON EMULSIÓN descrito en el Manual de Carreteras de la ABC V4A.

### **3.6. Diseño de Mezcla Asfáltica en Frio (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO).**

Es el segundo método de diseño de micro superficies asfálticas, que está basado en el método Marshall para diseño de mezclas en caliente, este método ha sido modificado y adecuado para el diseño de mezclas preparadas a temperatura ambiente.

El método consiste en determinar el porcentaje de asfalto óptimo para combinar con el agregado y la mezcla sea resistente a los esfuerzos de carga generados por el tránsito de vehículos.

El diseño analiza la relación estabilidad-flujo en muestras compactadas y la relación densidad, análisis de vacíos, pérdida de Estabilidad y % de absorción de humedad.

La estabilidad no es considerada un factor primario en determinar el contenido óptimo de asfalto. Para algunos agregados, los valores de flujo pueden requerir mayor contenido de asfalto, para un VTM determinado.

En la relación densidad y contenido de vacíos, entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos, a menor cantidad de vacíos menor será la permeabilidad de la mezcla y un contenido alto proporciona aberturas donde puede entrar agua y aire, deteriorando el pavimento.

### **3.6.1 Metodología de Diseño**

El proceso de diseño de Marshall Modificado para mezclas en frío, se sigue la siguiente metodología:

- Cálculo del contenido tentativo de ligante asfáltico requerido.
- Contenido de agua de premezcla.
- Determinación de la humedad para compactación.
- Ensayo de probetas que contienen un contenido de asfalto variado.
- Determinación del contenido óptimo de ligante asfáltico que satisface de la mejor manera todos los criterios de diseño (la determinación óptima del porcentaje de emulsión se realiza en capítulo IV).

#### **3.6.1.1. Calculo del Contenido Tentativo del Porcentaje de la Emulsión.**

**Método Instituto del Asfalto:**

$$P = (0.05 A + 0.1B + 0.5C)*0,7$$

Dónde:

*P* = % de emulsión asfálticas en peso del agregado seco

*A* = % agregado retenido en el tamiz de 2.36mm (N° 8)

*B* = % agregado que pasa el tamiz de 2.36mm (N° 8) y es retenido en 75 µm (N°200).

*C* = % agregado que pasa el tamiz de 75 µm (N°200) base.

Determinación de *P*:

$$P = 8,4 \% \approx 9 \%$$

#### **3.6.1.2. Humedad del Agregado Para el Ensayo de Recubrimiento.**

**RESULTADOS:**

**Tabla 3.21.** Resultados del Contenido de Humedad del Agregado.

MUESTRA	PESO HUMEDO (gr.)	PESO SECO (gr.)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	436,4	430,6	1,35
2	436,7	431,07	1,31
3	435,2	429,28	1,38
<b>PROMEDIO =</b>			<b>1,34 %</b>

El porcentaje de humedad del agregado, el procedimiento del ensayo se detalla en el ANEXO II.

**3.6.1.3. Contenido de Agua en la Emulsión Asfáltica.**

El 9 % de la emulsión determinada por el Método del Instituto del Asfalto (USA), contiene:

**Tabla 3.22.** Componentes del 9 % de la Emulsión.

EMULSION ASFALTICA RR-2C	
Asfalto	5,92 %
Agua	3,078 %
<b>TOTAL =</b>	<b>9 %</b>

**3.6.1.4. Contenido de Porcentaje de Humedad de Pre Mezcla.**

**Tabla 3.23.** Porcentaje de Humedad de los Materiales.

% DE HUMEDAD DE PRE MEZCLA	
Agregado	1,34 %
Emulsión	3,07 %
<b>TOTAL =</b>	<b>4,4 %</b>

**Figura 3.76:** Pesando el Agregado Húmedo

**Figura 3.77:** Agregado Seco





Fuente: propia.

### 3.6.1.5. Ensayo de Cobertura.

### 3.6.1.6. Contenido Óptimo de Recubrimiento de la Mezcla.

La humedad fija de pre mezcla para el porcentaje teórico de emulsión del 9% es:

$$w\% = 4,4\%$$

**Tabla 3.24.** Resultados de la Prueba de Recubrimiento de la Mezcla.

MEZCLA Nº	EMULSION %	Humedad Deseada (%)	AGUA A SER AÑADIDA		COBERTURA DE LA MEZCLA %
			%	gr.	
1	9 %	11	6,6	33	40
2		12	7,6	38	50
3		13	8,6	43	70
4		14	9,6	48	OPTIMO
5		15	10,6	53	SATURADO
6		16	11,6	58	SATURADO

FUENTE: Propia del autor.

**Figura 3.78:** Ensayo de Cubrimiento de Agregado y la Emulsión.



### 3.6.1.7. Ensayo de Adhesión.

**Figura 3.79:** Adhesión de los Materiales en la Mezcla



FUENTE: Propia del autor.

### 3.6.1.8. Fabricación de Briquetas de Prueba.

#### 3.6.1.8.1 Materiales para la Fabricación de Briquetas de Prueba.

**Tabla 3.25.** Dosificación de Materiales Para las Briquetas de Prueba.

BRIQUETA Nº	Emulsión (%)	(%) de Humedad Óptima	Peso del Agregado seco (gr.)
1 - 6	9%	14%	1091

### 3.6.1.9. Contenido Óptimo de Humedad de Compactación

**Tabla 3.26.** Resultados de Cálculo de la Pérdida de Humedad Antes de la Compactación.

PRUEBA Nº	EMULSION %	Humedad Óptima de diseño (%)	AGUA A SER AÑADIDA		AGUA ELIMINADA ANTES DE LA COMPACTACION		PESO FINAL ANTES DE COMPACTAR (gramos)
			%	gramos	%	gramos	
1	9 %	14 %	10 %	115	1 %	11	1316
2					2 %	22	
3					3 %	33	
4							
5							
6							

Fuente: Propia del autor

#### 3.6.1.9.1. Gravedad Bulk para Briquetas de Prueba.

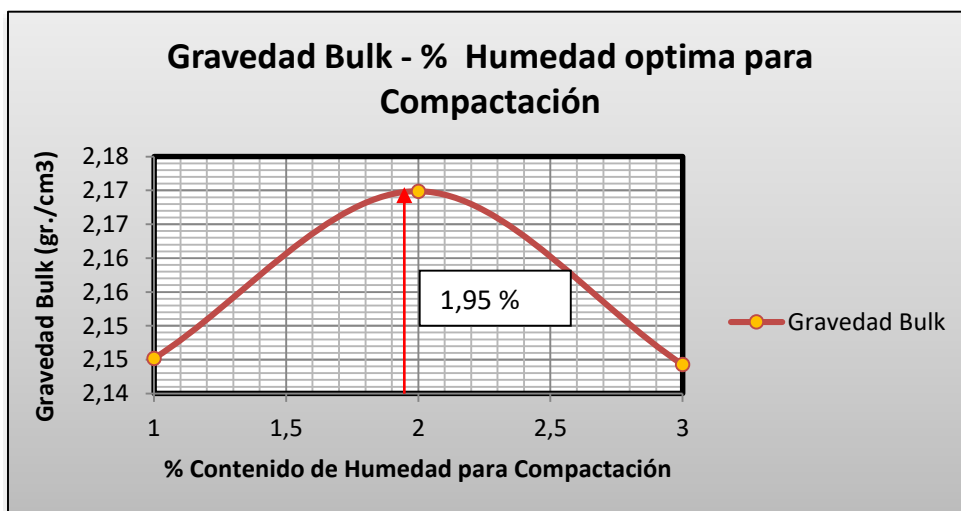
**Tabla 3.27.** Resumen de Datos Para Determinar la Gravedad Bulk (briquetas de Prueba).

BRIQUETA Nº	Peso de la briqueta al aire Wba (gr)	Peso de la briqueta sumergido en agua Wbw (gr.)	Peso de la briqueta superficie seca Wsss (gr.)	Gravedad Bulk Gmb (gr/cm3)	Gravedad Bulk promedio Gmb (gr/cm3)
1	1119,4	618	1135	2,165	2,15
2	1120	613	1140	2,125	
3	1094	612	1118	2,256	2,17
4	1115	614	1126	2,177	
5	1115,4	608	1124	2,161	2,14
6	1120,9	605	1132	2,126	

**Tabla 3.28.** Cuadro Resumen de la Gravedad Bulk Para las Briquetas de Prueba.

Nº BRIQUETA	Perdida de Humedad para Compactación %	Gravedad Bulk Gmb (gr/cm3)	Gravedad Bulk promedio Gmb (gr/cm3)
1	1%	2,16	2,15
2		2,12	
3	2%	2,16	2,17
4		2,17	
5	3%	2,16	2,14
6		2,12	

**Grafica 3.2** Perdida de Humedad Para Compactar.



### 3.6.1.10. Variación del Contenido de Emulsión Asfáltica

Las variaciones y rango de valores para la aplicación del método son:

$$CA-1,5 \% < CA-0,5 \% < CA < CA+0,5\% < CA-1,5 \%$$

$$7,5\% < 8,5\% < 9 \% < 9,5\% < 10,5\%$$

La cantidad de briquetas por punto es de seis (6), total de treinta (30) briquetas.

### 3.6.1.11 Materiales para Cada Contenido de Emulsión Asfáltica:

La cantidad en peso de cada briketa en total será de 1000 gramos, porque la cantidad de 1200 gramos descrita en la norma de la ABC resultan sobre dimensionado y no cumplen el rango de magnitudes para su corrección por su altura.

**Tabla 3. 29.** Resumen de Materiales que Controlan la Trabajabilidad y Tiempo de Rotura.

MATERIALES	CANTIDAD (%)
Llenante Mineral filler: Cemento Portland Tipo I	1%
	Del Total del 100 % del agregado fino
Aditivo: Sulfato de Aluminio	0,5 % En función del Porcentaje de la Emulsión

Fuente: Propia del autor.

Procedimiento y los ensayos se describen en el ANEXO III

**Tabla 3. 30.** Resumen de Materiales (%) que Componen la Micro Superficie.

Nº	ASFALTO RESIDUAL %	AGREGADO (gr)	AGUA EN LA EMULSION %	EMULSION A SER AÑADIDA		Humedad de diseño (%)	Humedad del agregado (%)	AGUA A SER AÑADIDA		PESO DE LA MEZCLA (gr.)	AGUA ELIMINADA ANTES DE COMPACTAR		PESO FINAL ANTES DE COMPACTAR (gr.)
				%	gr.			%	gr.		%	gr.	
1-2	4,9	925	2,6	7,5	75	14	1,34	10	101	1101	2	22	1079
3-4													
5-6	5,6	915	2,9	8,5	85	14	1,34	9,8	98	1098	2	22	1076
7-8													
9-10	5,9	910	3,1	9	90	14	1,34	9,6	96	1096	2	21,9	1074
11-12													
13-14	6,3	905	3,2	9,5	95	14	1,34	9,4	94	1094	2	21,9	1072
15-16													
17-18	6,9	895	3,6	10,5	105	14	1,34	9,1	91	1091	2	21,8	1069
19-20													

Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.80:** Agregado + Filler.

**Figura 3.81:** Agregado + Aditivo.



Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.82:** Adición y Mezclado de Agua.



Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.83:** Agregado Húmedo Superficialmente Seco con Emulsión y Mezclado de Materiales.



Fuente: Propia del autor.

### 3.6.1.12. Fabricación de Briquetas de Diseño.

**Figura 3.84:** Incrementando la Perdida de % Humedad de la Mezcla con el Ventilador



FUENTE: Propia del autor

**Figura 3.85:** (A) Pérdida de Humedad y (B) Pesado de la Mezcla con la Humedad Óptima.



Fuente: Propia del autor.

(A)

(B)

**Figura 3.86:** Mezcla en el Molde Marshall.



Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.87:** Papel Para Evitar la Adhesión del Martillo con la Briqueta



Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.88:** Compactado de la Briqueta con el Martillo.



Fuente: Propia del autor.



**Figura 3.89:** Rotulación y Curado de Briquetas



Fuente: Propia del autor.

**3.6.1.13. Curado de Briquetas de Diseño. (Método Marshall modificado).**

**Figura 3.90:** Briquetas Extraídas con Gato Hidráulico.



Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.91:** Curado de las Briquetas en el Horno.



Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.92:** Curado de las Briquetas a Temperatura Ambiente por 14 Días.



Fuente: Propia del autor.

### 3.6.1.14. Ensayo de Estabilidad y Fluencia en Briquetas Secas y Saturadas.

#### 3.6.1.14.1 Ensayo de Estabilidad Seca

- Se determinó los pesos de las briquetas por cada porcentaje de asfalto: peso en el aire, peso sumergido y peso saturado superficialmente seco.

**Tabla 3.31.** Resumen de Propiedades de Gravedad de las 15 Briquetas Ensayadas.

BRIQUETA Nº	Peso de la briqueta al aire $W_{ba}$ (gr)	Peso de la briqueta sumergido en agua $W_{bw}$ (gr.)	Peso de la briqueta superficie seca $W_{sss}$ (gr.)	
1	<b>B1</b>	1000,3	551,2	1016
2	<b>B2</b>	994,5	555	1015
3	<b>B3</b>	1010	563	1025
7	<b>B7</b>	1001,8	557	1012
8	<b>B8</b>	999,5	560,8	1014
9	<b>B9</b>	1003	568	1018
13	<b>B13</b>	997,2	567,9	1011
14	<b>B14</b>	998,8	570,3	1013
15	<b>B15</b>	1007	564	1020
19	<b>B19</b>	996,8	573,6	1010
20	<b>B20</b>	998,2	571,9	1013
21	<b>B21</b>	1002	561	1009
25	<b>B25</b>	999,5	570,1	1011
26	<b>B26</b>	998,1	566,9	1012
27	<b>B27</b>	995	562	1007

Fuente: Propia del autor.

**Tabla 3.32.** Resumen de los Pesos Antes y Después del Ensayo de Estabilidad Seca.

RESIDUO DE ASFALTO % (A)			Peso de la briqueta húmeda fallada (gr) (H)	Peso de la briqueta fallada seca (gr.) (I)
4,9	SECO	B1	1016	990,2
		B2	1015	984,8
		B3	1027	1002
5,6	SECO	B7	1012	992,3
		B8	1014	990,4
		B9	1020	994
5,9	SECO	B13	1011	980,2
		B14	1013	989,7
		B15	1023	1003
6,3	SECO	B19	1010	990,4
		B20	1012	988
		B21	1007	992
6,9	SECO	B25	1011	997
		B26	1012	993,5
		B27	1008	984

Fuente: Propia del autor.

**Tabla 3.33.** Resumen del Ensayo de Estabilidad y Flujo Seco de Briquetas.

RESIDUO DE ASFALTO %	CONDICION	N° BRIQUETA	Altura de la Probeta cm.	FLUJO mm.	ESTABILIDAD SECA Lb.
4,9	SECO	B1	6,16	140	200
		B2	6,14	190	190
		B3	6,12	160	195
5,6	SECO	B7	6,16	200	197
		B8	6,17	220	189
		B9	6,15	190	195
5,9	SECO	B13	6,22	220	193
		B14	6,26	240	190
		B15	6,18	250	194
6,3	SECO	B19	6,36	310	190
		B20	6,13	280	192
		B21	6,21	290	189
6,9	SECO	B25	6,25	370	184
		B26	6,18	380	186
		B27	6,2	300	188

Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.93:** Peso Seco de Cada Briqueta y Saturado de Briquetas.



Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.94:** Peso en el Agua de Briqueta y Peso Saturado Superficialmente Seco.



Fuente: Propia del autor.

### 3.6.1.14.2. Ensayo de Estabilidad Saturada

**Tabla 3.34.** Datos de los pesos antes y después del ensayo de estabilidad saturada.

RESIDUO DE ASFALTO % (A)	CONDICION (60 min.)	N° DE BRIQUETA	Peso de la briqueta húmeda fallada (gr) (H)	Peso de la briqueta fallada seca (gr.) (I)
4,9	SATURADO	B4	1025,8	979,2
		B5	1027,6	974,7
		B6	1030	983
5,6	SATURADO	B10	1024,4	985
		B11	1021,8	989
		B12	1026	992
5,9	SATURADO	B16	1018,8	989,2
		B17	1021,1	985,4
		B18	1015,4	979,5
6,3	SATURADO	B22	1015,2	990,1
		B23	1014,4	991,2
		B24	1009	989
6,9	SATURADO	B28	1010,7	995,1
		B29	1008,5	996
		B30	1003	992

**Tabla 3.35.** Resumen de datos del ensayo de estabilidad saturada y Flujo.

RESIDUO DE ASFALTO %	CONDICION	N° BRIQUETA	Altura de la Probeta cm.	FLUJO SATURADO mm.	ESTABILIDAD SATURADO Lb.
4,9	SATURADA	B4	6,12	240	154
		B5	6,18	200	157
		B6	6,2	210	150
5,6	SATURADA	B10	6,27	280	160
		B11	6,25	300	173
		B12	6,2	250	165
5,9	SATURADA	B16	6,27	300	168
		B17	6,3	330	170
		B18	6,23	290	174
6,3	SATURADA	B22	6,32	400	179
		B23	6,28	410	176
		B24	6,26	370	175
6,9	SATURADA	B28	6,2	480	174
		B29	6,21	430	170
		B30	6,15	460	166

**Figura 3.95:** Briquetas para Sumergir en el Baño María.



Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.96:** Prensa Marshall.



Fuente: Propia del autor.

**Figura 3.97:** Briquetas Después del Ensayo en la Prensa Marshall.



### 3.6.1.15. Determinación de Propiedades Volumétricas de Briquetas.

Con los datos obtenidos se determina las características y propiedades de la mezcla asfáltica y que sigue la siguiente secuencia:

- Gravedad Específica Bulk (G).
- Contenido de Humedad (K).
- Densidad Específica Bulk Seca (Gd).
- % de Humedad Absorbida (%H).
- % de Vacíos Totales.
- % de Vacíos de Aire.
- % de Vacíos en el Agregado Mineral.
- Estabilidad Seca y Saturada.
- Corrección de la Estabilidad.
- Flujo seco y Húmedo.
- Pérdida de Estabilidad.

#### 3.6.1.15.1 Gravedad Específica Bulk (G):

**Tabla 3.36.** Resultados de Gravedad Específica Bulk de las 15 Briquetas Ensayadas.

RESIDUO DE ASFALTO %	CONDICION	N° BRIQUETA	Gravedad Bulk Gmb (gr/cm3)
4,9	SECO	B1	2,15
		B2	2,16
		B3	2,19
5,6	SECO	B7	2,20
		B8	2,20
		B9	2,23
5,9	SECO	B13	2,25
		B14	2,26
		B15	2,21
6,3	SECO	B19	2,28
		B20	2,27
		B21	2,24
6,9	SECO	B25	2,27
		B26	2,24
		B27	2,24

Fuente: Propia del auto

Los cálculos se detallan en el ANEXO III.

Para las siguientes propiedades se utilizaron los pesos de las briquetas falladas húmedas y briquetas falladas secas del ensayo de estabilidad.

**3.6.1.15.2. Contenido de Humedad K (%).**

**Tabla 3.37.** Resultados de Contenido de Humedad de las 30 Briquetas Falladas.

RESIDUO DE ASFALTO %	Ensayo de Briqueta	N° de Briqueta	Contenido de Humedad. % (K)
4,9	SECO	B1	1,05
		B2	0,9
		B3	1,
	SATURADO	B4	5,0
		B5	5,7
		B6	5,0
5,6	SECO	B7	1
		B8	0,9
		B9	1,2
	SATURADO	B10	4,2
		B11	3,5
		B12	3,6
5,9	SECO	B13	1,8
		B14	1
		B15	0,7
	SATURADO	B16	3,2
		B17	3,8
		B18	3,9
6,3	SECO	B19	0,7
		B20	1,1
		B21	0,9
	SATURADO	B22	2,7
		B23	2,5
		B24	2,1
6,9	SECO	B25	0,2
		B26	0,5
		B27	1,3
	SATURADO	B28	1,7
		B29	1,3
		B30	1,2

Fuente: Propia del autor.

Los cálculos se detallan en el ANEXO III



### 3.6.1.15.3 Densidad Específica Bulk Seca (Gd).

**Tabla 3. 38.** Resultados de Densidad Específica Bulk Seca 15 Briquetas Falladas.

RESIDUO DE ASFALTO %	N° BRIQUETA	Densidad Bulk Seca Gd (gr/cm <sup>3</sup> )
4,9	B1	2,13
	B2	2,14
	B3	2,27
5,6	B7	2,18
	B8	2,18
	B9	2,33
5,9	B13	2,21
	B14	2,24
	B15	2,32
6,3	B19	2,27
	B20	2,24
	B21	2,36
6,9	B25	2,26
	B26	2,23
	B27	2,36

Fuente: Propia del autor.

Los cálculos se detallan en el ANEXO III

### 3.6.1.15.4. Porcentaje de Humedad Absorbida (%H).

**Tabla 3.39.** Resultados del Contenido de % Humedad Absorbida de 30 Briquetas Falladas

RESIDUO DE EMULSION (%)	% HUMEDAD ABSORBIDA
4,9	4,21
5,6	2,66
5,9	2,46
6,3	1,58
6,9	0,72

Fuente: Propia del autor.

Los cálculos se detallan en el ANEXO III

### 3.6.1.15.5. Porcentaje de Vacíos Totales (V%).

**Tabla 3.40.** Resultados de % Máximo de Vacíos Totales de 15 Briquetas Falladas

RESIDUO DE ASFALTO %	N° BRIQUETA	Máximo Total de Vacíos (%) (VTM)
4,9	B1	12,1
	B2	14,4
	B3	11,1
5,6	B7	8,7
	B8	8,6
	B9	8,1
5,9	B13	6,8
	B14	5,8
	B15	7,1
6,3	B19	3,7
	B20	4,8
	B21	4,6
6,9	B25	2,9
	B26	4,2
	B27	4

Fuente: Propia del autor.

### 3.6.1.15.6 Porcentaje de Vacíos de Aire.

**Tabla 3.41.** Resultados de % de Vacíos de Aire de 15 Briquetas Falladas

RESIDUO DE ASFALTO %	N° BRIQUETA	Contenido de Vacíos en el Aire (%)
4,9	B1	9,9
	B2	12,4
	B3	9,0
5,6	B7	7
	B8	6,6
	B9	5,7
5,9	B13	3
	B14	3,8
	B15	5,5
6,3	B19	2,2
	B20	2,6
	B21	2,8
6,9	B25	2,4
	B26	3,1
	B27	1,3

Fuente: Propia del autor.

### 3.6.1.15.7 Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral.

**Tabla 3.42.** Resultados del % de Vacíos en el Agregado Mineral de las Briquetas.

RESIDUO DE ASFALTO %	N° BRIQUETA	Contenido de Vacíos en el Agregado Mineral (%) (VMA)
4,9	B1	24,9
	B2	24,5
	B3	24,8
5,6	B7	23,5
	B8	23,4
	B9	24,0
5,9	B13	22,7
	B14	21,9
	B15	24,7
6,3	B19	20,9
	B20	21,8
	B21	24,1
6,9	B25	21,7
	B26	22,7
	B27	25,1

Fuente: Propia del autor.

### 3.6.1.15.8 Ensayo de Estabilidad Marshall. (Método Marshall modificado).

**Tabla: 3.43.** Resultados de Estabilidad Seca.

RESIDUO DE ASFALTO %	N° BRIQUETA	Estabilidad Seca Lb.
4,9	B1	2208,5
	B2	2108,7
	B3	2158,2
5,6	B7	2178,6
	B8	2098,7
	B9	2158,4
5,9	B13	2138,7
	B14	2108,5
	B15	2148,3
6,3	B19	2108,1
	B20	2128,7
	B21	2098,8
6,9	B25	2048,6
	B26	2068,7
	B27	2088,5

**Tabla: 3.44.** Resultados de Estabilidad Saturada.

RESIDUO DE ASFALTO %	N° BRIQUETA	Estabilidad Saturada Lb.
4,9	B4	1743,7
	B5	1774,5
	B6	1702,5
5,6	B10	1805,3
	B11	1937,6
	B12	1856,3
5,9	B16	1886,9
	B17	1907,2
	B18	1947,7
6,3	B22	1998,2
	B23	1968,0
	B24	1957,8
6,9	B28	1947,7
	B29	1907,2
	B30	1866,5

### 3.6.1.15.9 Corrección de los Valores de Estabilidad

**Tabla 3.45.** Estabilidad Marshall Corregida

RESIDUO DE ASFALTO %	N° BRIQUETA	Estabilidad Seca Lb.	N° BRIQUETA	Estabilidad Saturada Lb.
4,9	B1	2325,5	B4	1857,1
	B2	2233,2	B5	1856,2
	B3	2299,0	B6	1770,6
5,6	B7	2294,1	B10	1843,2
	B8	2201,6	B11	1989,9
	B9	2279,6	B12	1930,6
5,9	B13	2213,6	B16	1926,5
	B14	2159,3	B17	1932,0
	B15	2247,6	B18	2010,1
6,3	B19	2103,5	B22	2014,2
	B20	2260,7	B23	2005,4
	B21	2176,4	B24	2004,8
6,9	B25	2103,9	B28	2025,6
	B26	2163,8	B29	1977,8
	B27	2172,3	B30	1971,0

FUENTE: Propia del autor

**Figura 3.98:** Lecturas de Dimensiones de las Briquetas Para su Corrección por su Altura.



FUENTE: Propia del autor

### 3.6.1.15.10 Flujo de las Briquetas. (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO).

**Tabla 3.46.** Resultados de Flujo Seco y Saturado.

RESIDUO DE ASFALTO %	N° BRIQUETA	Flujo Seco 1/100	N° BRIQUETA	Flujo Saturado 1/100
4,9	B1	5,5	B4	9,4
	B2	7,5	B5	7,9
	B3	6,3	B6	8,3
5,6	B7	7,9	B10	11
	B8	8,7	B11	11,8
	B9	7,5	B12	9,8
5,9	B13	8,7	B16	11,8
	B14	9,4	B17	13
	B15	9,8	B18	11,4
6,3	B19	12,2	B22	15,7
	B20	11	B23	16,1
	B21	11,4	B24	14,6
6,9	B25	14,6	B28	18,9
	B26	15	B29	16,9
	B27	11,8	B30	18,1

FUENTE: Propia del autor

### 3.6.1.15.11. Pérdida de Estabilidad.

**Tabla 3.47.** Resultados de la Pérdida de Estabilidad Seca a Saturada.

RESIDUO DE ASFALTO (%)	% PERDIDA DE ESTABILIDAD
4,6	20 %
5,6	15 %
5,9	11 %
6,3	8 %
6,9	7 %

FUENTE: Propia del autor

Los resultados obtenidos de las briquetas por el método Marshall modificado para mezclas frías, posteriormente se utilizaran para los diferentes gráficos de análisis. Con la información de sus propiedades volumétricas, estabilidad y flujo se procederá a realizar los Gráficos en el capítulo IV:

- Gravedad Específica Bulk vs. Contenido de asfalto residual en %.
- Estabilidad seca y Húmeda (lb.) vs. Contenido de Asfalto Residual en %.
- Pérdida de Estabilidad en % vs. Contenido de Asfalto Residual en %.
- Vacíos Totales en la Mezcla% vs. Contenido de Asfalto Residual en %.
- Flujo en 1/100” vs Contenido de Asfalto Residual en %.

A partir de estos gráficos se obtiene el valor del contenido de asfalto óptimo necesario para completar el diseño; tomando en cuenta las siguientes recomendaciones:

El contenido de asfalto óptimo debe ser aquel para el cual se obtenga una óptima estabilidad, cuando se realice el ensayo de estabilidad en condición saturada, la mezcla cuyo contenido de asfalto que se considere óptimo debe poseer un valor de vacíos Totales dentro de un rango de 4 a 6% (según el señalado por las Normas).

Finalmente el contenido óptimo de asfalto residual, será aquel que provea el mayor valor de estabilidad sumergida; siempre que este valor pueda ser ajustado por arriba o por debajo dependiendo de la Densidad Máxima Seca Bulk de las briquetas ensayadas.

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Los resultados obtenidos de los ensayos, realizados en el laboratorio de suelos y asfalto del Servicio departamental de caminos de Tarija, y en base al manual de “Procedimientos Recomendados para Micro aglomerados ISSA-A-143/01”, donde se establecen las especificaciones que deben cumplir los materiales que componen la mezcla, y los ensayos de evaluación, para comprobar si son aceptadas las mismas.

Para el procedimiento de los ensayos se utilizó el Manual de Carretera de la ABC v4A. El análisis de resultados de los materiales obtenidos se comparara con las especificaciones de la norma.

#### **4.1 Análisis de la Evaluación PCI.**

El Índice de Condición del Pavimento de 56 % del tramo “Puente Carlaso – Puente Jarcas”, indica que:

- El servicio de la carretera disminuyo.
- La carretera presenta fallas de tipo superficial en todo el tramo, por el efecto del tránsito y la carga sobre la estructura del pavimento, el medio ambiente y las condiciones atmosféricas de la zona.
- La continuidad de su servicio está condicionado a realizar un mantenimiento para reparar las fallas localizadas con las actividades correspondientes y luego realizar un tratamiento superficial que corrija toda la superficie del pavimento.
- Seguir su servicio en las condiciones actuales acelerara su deterioro que afectara a las capas granulares.
- La condición actual generara consecuencias a corto plazo como: la inseguridad en el tránsito en época de lluvias, mayor distancia de frenado en caso de emergencias; las consecuencias a largo plazo serán: incremento del costo de mantenimiento en el futuro, las fallas incrementaran su grado de severidad, mayor tiempo en el recorrido del tramo y deterioro de los vehículos.

**Tabla 4.1.** La Extensión Típica de Vida del Pavimento Rehabilitado.

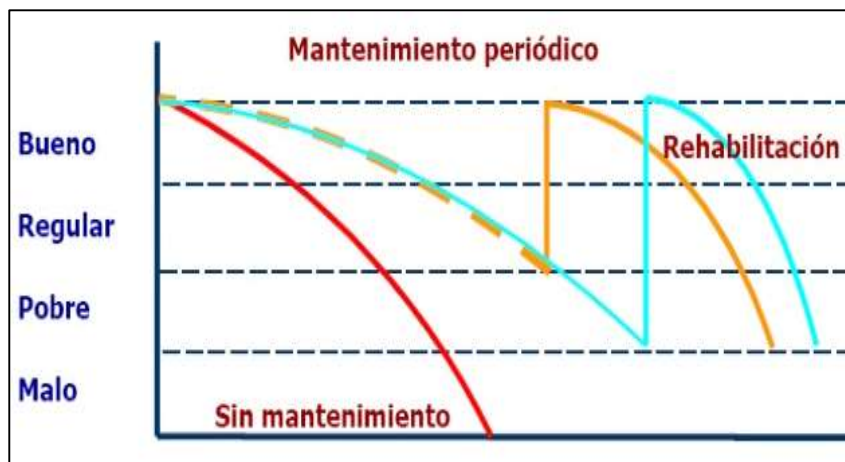


Treatment	Pavement Condition		
	Good (PCI=80)	Fair (PCI=60)	Poor (PCI=40)
Slurry Seals	3 - 5 yrs.	1 - 3 yrs.	0 - 1 yrs.
Microsurfacing	4 - 8 yrs.	3 - 5 yrs.	1 - 4 yrs.

Fuente: The National Center for Pavement Preservation @ Michigan State University.

El tramo de estudio y la gráfica de la relación deterioro-tiempo de acuerdo con la combinación los efectos generados con y sin carga que conducen al deterioro de la carretera. Para un PCI de 56 % y el tiempo de servicio que tiene esta carretera, nos indican que el pavimento se deteriora prematuramente en sus casi diez años de vida, pero en la actualidad su condición es buena a regular, esta condición debe alcanzar a los 12 a 13 años de vida útil.

**Gráfica 4.1.** Comportamiento del Pavimento Ante las Acciones de Mantenimiento.



Fuente: [https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=imgr&cd=&cad=rja&uact=8&ved=&url=http%3A%2F%2Fes.slideshare.net%2FALEXANDRAPATRICIAGUT%2F1-sistemas-de-gestin&psig=AFQjCNEhEoO1fc\\_IxoTeFgqOPAxXVvuKuA&ust=1475116121923246](https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=imgr&cd=&cad=rja&uact=8&ved=&url=http%3A%2F%2Fes.slideshare.net%2FALEXANDRAPATRICIAGUT%2F1-sistemas-de-gestin&psig=AFQjCNEhEoO1fc_IxoTeFgqOPAxXVvuKuA&ust=1475116121923246)

La tasa de deterioro del tramo se halla en 44 % y aproximadamente un 56 % de vida útil, según la gráfica sino se realizan actividades de mantenimiento, y el resultado

obtenido del PCI el deterioro de la carretera se acelera en muy corto tiempo, reduciendo su vida útil.

Las actividades recomendadas para la condición de pavimento son las siguientes:

**Tabla 4.2.** Categorización del PCI vs. Tipos de Mantenimiento Sugeridos por la ASTM.

Índice de Estado Superficial del Pavimento - Categorías de Acción		
Rango de Índice de Estado	Categoría de Acción	Descripción
100 a 85	<b>Excelente</b> Mantenimiento Preventivo o Mínimo	Pavimento en condición muy buena; no requiere acciones de mantenimiento correctivo inmediatas; ocasionalmente pueden requerir acciones de mantenimiento mínimo preventivo
85 a 70	<b>Muy Bueno</b> Mantenimiento Correctivo Menor	Pavimento en condición buena, con fallas incipientes que requieren acciones de mantenimiento correctivas inmediatas y/o en el corto plazo
70 a 55	<b>Bueno</b> Mantenimiento Correctivo Mayor o Intensivo	Pavimento en condición dudosa o regular, con fallas evidentes que requieren acciones de mantenimiento correctivo frecuentes y probablemente una rehabilitación a mediano plazo:  1. Condición dudosa mantenimiento correctivo mayor. 2. Sellado de superficie 3. Re-encarpetado delgado
40 a 25	<b>Pobre</b> Rehabilitación - Refuerzo Estructural	Pavimento en condición deficiente con fallas en proceso de generación, que requieren una rehabilitación en el corto plazo para evitar la generalización de daños irreversibles
< 25	<b>Muy Pobre y Colapsado</b> Rehabilitación - Reconstrucción	Pavimento en condición muy deficiente, con fallas severas generalizadas que requieren una rehabilitación mayor, probablemente con alto porcentaje de reconstrucción, en el corto plazo

Fuente: Revista Infraestructura Vial / Lanamme UCR / ISSN: 2215-3705 / Volumen 16 / Número 28 / Octubre, 2014

Las condiciones actuales del pavimento y una la elección de una técnica adecuada de mantenimiento nos conducirán a elevar nivel de servicio y prolongar su vida útil.

#### 4.1.1. Alternativas Propuestas.

Las técnicas más apropiadas, para el mantenimiento de las fallas localizadas en las muestras anteriores evaluadas son: bacheo para baches profundos y depresiones, y un reemplazo de los parches deteriorados, el mantenimiento de estas fallas no se tratara en este trabajo.

Las actividades recomendadas para mejorar la condición de la carretera y reparar el problema de la corrugación y peladura, que son las fallas más frecuentes en el tramo, es la aplicación de:

- Re-encarpetado delgado.
- Sellado de la superficie (Micro superficies asfálticas)

#### 4.2 Análisis de Resultados de Ensayos Realizados a los Agregados Triturados.

Con los respectivos resultados de cada una de las pruebas de laboratorio realizadas al agregado pétreo, utilizado para el diseño de la mezcla en frío de micro superficie, a continuación se realiza un análisis y la correspondiente interpretación (comparación con las especificaciones) para cada ensayo.

##### 4.2.1 Análisis granulométrico

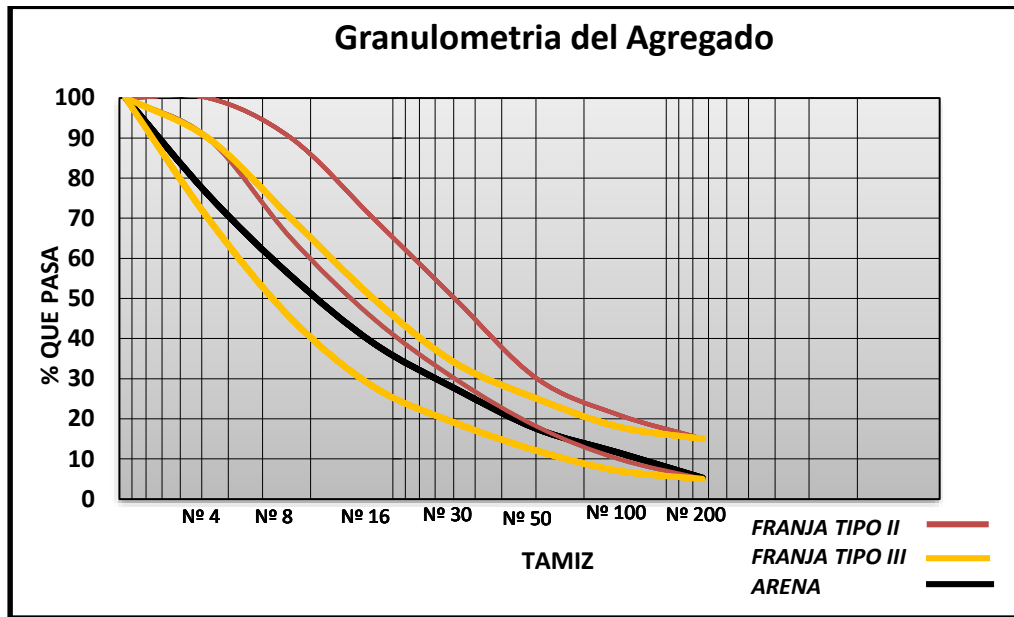
Tabla 4.3. Resultados de Granulometría de Arena Triturada.

Peso Total (gr.)			1000	A.S.T.M C-136		ESPECIFICACION				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa del Total	TIPO II		TIPO III		TOLERANCIA
3/8"	9,50	0,0	0	0,0	100,0	100	100	100	100	-
Nº4	4,75	241,0	241	24,1	75,9	90	100	70	90	±5%
Nº8	2,36	203,0	444	44,4	55,6	65	90	45	70	±5%
Nº16	1,18	167,0	611	61,1	38,9	45	70	28	50	±5%
Nº30	0,59	113,0	724	72,4	27,6	30	50	19	34	±5%
Nº50	0,30	101,0	825	82,5	17,5	18	30	12	25	±4%
Nº100	0,15	59,0	884	88,4	11,6	10	21	7	18	±3%
Nº200	0,07	63,0	947	94,7	5,3	5	15	5	15	±2%
	<b>BASE</b>	53,0								

Fuente: Propia del autor.

Para la muestra de agregado arena triturada, los porcentajes que pasan en los tamices correspondientes, con porcentaje inferior en el tamaño máximo y casi en el límite del porcentaje que pasa el N° 200, que será mejorado con la adición de cemento portland como filler, pero la gradación del agregado utilizado se encuentra dentro de los límites establecidos para la especificación del tipo III, por lo tanto se considera que el material cumple con la gradación requerida para ser empleada en el diseño.

Gráfica 4.2. Granulometría de la Arena Triturada.



Fuente: Propia del autor.

#### 4.2.2. Análisis del Ensayo de Caras Fracturadas.

Ensayo a la fracción que pasa por el tamiz N° 3/8 – 1/4” , tolerancia de 15% de arena natural, demostrando su aptitud para la mezcla propuesta.

Resultado del Ensayo de Caras Fracturadas.

ASTM D5126-95	Caras fracturadas	86%	100%
---------------	-------------------	-----	------

#### 4.2.3. Análisis del Ensayo Equivalente de Arena.

Este ensayo es referente a la fracción que pasa por el tamiz N° 3/8 (9.5 mm).

Resultado del Ensayo del Equivalente de Arena.

AASHTO T176	ASTM D2419	Equivalente de arena	82,3 %	65 % Mínimo
-------------	------------	----------------------	--------	-------------

Fuente: Propia del autor.

El equivalente de arena de **82.3 %**, es un resultado que indica su alto contenido de agregado. La especificación descrita en el capítulo II, (norma AASHTO T 176) establece un valor de 65% mínimo, el resultado obtenido indica que el agregado tiene una proporción de polvo fino de 17.7 % en la fracción de agregado que pasa el tamiz N° 3/8. El equivalente de arena de 82,3 % en el agregado, es un valor que cumple con la especificación, y además se encuentra por encima del mínimo aceptable para el diseño de la mezcla usando emulsión asfáltica.

#### 4.2.4. Análisis del Ensayo Estabilidad por la Acción de Sulfatos.

La especificación AASHTO T-104, ASTM-C88 proponen un 15% máximo de pérdida en peso para agregados utilizados en mezclas con emulsión asfáltica.

Resultado del Ensayo de Durabilidad.

ARENA TRITURADA	
TOTAL % PÉRDIDA DE PESO	2,54 %
MÁXIMO ASTM C 88	15 %
Cinco ciclos	

Fuente: Propia del autor.

Este valor es considerado solo como una estimación de su resistencia a las condiciones de intemperismo de agregados, que se inicia en el momento que pierden la película de asfalto de su superficie, pero las condiciones reales a que estarán sujetos los agregados definirán el verdadero comportamiento de los mismos.

El resultado de 2,54% de pérdida por desgaste del agregado por sulfatos es muy bajo comparando con la especificación de 15% como máximo, lo que indica que es un agregado muy resistente a la acción de los sulfatos, el agregado triturado es apto para el diseño, según las especificaciones de la técnica.

#### 4.2.5. Análisis de Resistencia al Desgaste.

Los agregados analizados que resulten con valores mayores a este criterio, no podrán utilizarse para conformaciones de pavimentos, excepto cuando su uso sea justificado.

Resultado del Ensayo de Desgaste.

ASTM C131	GRADACIÓN- C	Abrasión	18,26	Resistencia 30% Máximo
ASTM C131	GRADACIÓN- D	Abrasión	20,52	Resistencia 30% Máximo

Fuente: Propia del autor.

Con base en los resultados se determinó, que el material empleado para el diseño, posee un desgaste por debajo de la especificación para ambas gradaciones, por lo que se considera un excelente material, con un alto grado de dureza proporcionando la resistencia a la micro superficie porque será capaz de resistir los esfuerzos de abrasión, degradación, en la aplicación, compactación de la mezcla y durante la vida de servicio del pavimento.

#### 4.2.6. Análisis de la Gravedad Específica y Absorción del Agregado.

Resumen de Resultados de Ensayo Gravedad Específica y Absorción.

AASHTO T- 84	ASTM C- 128	Peso específico	2,701 gr/cm <sup>3</sup>
		% Absorción	2,48%

Fuente: Propia del autor.

Estos valores son los que indican la calidad de los materiales pétreos, absorciones altas indicarán agregados con alto contenido de poros permeables, con baja resistencia a los esfuerzos de compresión, los agregados con gravedad específica menores a dos (2) no son apropiados para mezclas de superficie.

Los resultados del ensayo de peso específico de 2,701 gr/cm<sup>3</sup> y el porcentaje de absorción de 2,48 % están por encima del mínimo considerado como apto para la construcción de pavimentos para soportar a los esfuerzos de tránsito, y la absorción de 2,48 %, es una característica importante para absorber el asfalto y envolver el agregado con el ligante, y se considera de excelente calidad para el diseño.

#### 4.3. Análisis del Ensayo Realizado al Cemento Portland.

Resumen de Resultados de Ensayo Granulometría del Cemento Portland.

Tamiz	% que pasa	Especificación ASTM 546-99 (% que pasa)
N° 30	100	100
N° 50	91,8	95 - 100
N° 200	79,8	70 - 100

Fuente: Propia del autor.

El cemento portland “El Puente” Tipo I según el ensayo de su granulometría cumple con los porcentajes retenido según especificaciones, que determina aptitud para su uso en la fabricación de micro superficie.

#### 4.4. Análisis de los Resultados de Ensayos Realizados a la Emulsión Asfáltica.

Los resultados de los ensayos realizados a la emulsión asfáltica se presentan en el resumen siguiente, cumpliendo en su totalidad con las especificaciones exigidas La emulsión asfáltica modificada RR-2C (Catiónica, alta densidad y de rompimiento rápido), con un 65,8% de Residuo Asfáltico (R.A.) y un 34,2% de agua.

**Tabla 4.4.** Resultados de los Ensayos Realizados a la Emulsión.

Ensayo	Descripción	Resultado	Especificaciones
ASTM D 244 – 00	Residuo de Asfalto por Evaporación	65,78	> 62
ASTM D 2397	Penetración	132	100 - 200
ASTM D244	Viscosidad Saybolt Furol	258	100 - 400
ASTM D 244 – 00	Retenido en Tamiz N°20	0,056	< 0,01
ASTM D 70	Peso específico	1,003	-

Fuente: Propia del autor.

El tipo de modificante que contiene la emulsión, es un polímero elastómero SBR, modificador tipo I de mayor estabilidad y proporcionara a la mezcla las siguientes características:

- Es el más adecuado para utilizarse en climas cálidos.
- Resistencia a los ciclos térmicos día/noche e invierno/verano.
- Genera una Red Elastomérica que permite aumentar la viscosidad.
- Minimizar la pérdida de agregado.
- Mayor resistencia a la fatiga y al agua.
- Resistencia a la deformación permanente a altas temperaturas y flexibilidad a bajas temperaturas.

#### 4.5 Diseño de Mezcla Asfáltica en Frío (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO).

##### 4.5.1. Contenido Tentativo de Emulsión Asfáltica Método Instituto del asfalto

**EMULSIÓN ASFÁLTICA TENTATIVO = 8,4 %**

EL contenido tentativo de emulsión por el método instituto del asfalto con un resultado de 8,4 %, pero se tomara 9 % porque este es un valor preliminar y sirve para conocer el valor de partida, y que está en función del área superficial de los agregados, el valor final será del resultado de los ensayos que se realizaran en este trabajo y los criterios de diseño de la norma para determinar el óptimo.

##### 4.5.2. Análisis de Resultado del Ensayo de Cobertura.

Resultados de la Combinación de Materiales Para la Prueba de Recubrimiento óptimo.

MEZCLA Nº	ASFALTO RESIDUAL %	EMULSION %	AGUA EN LA EMULSION A SER AÑADIDA		Humedad Deseada (%)	Humedad del agregado (%)	AGUA A SER AÑADIDA		PESO ACUM. DE LA MEZCLA (gr.)	PESO ACUM. DE LA MEZCLA + AGUA (gr.)	COBERTURA DE LA MEZCLA %
			%	gr.			%	gr.			
1	5,9	9	3,1	15,4	14	1,34	9,6	48	506	554	OPTIMO

FUENTE: Propia del autor.

Según experiencias el rango del porcentaje de agua está entre el 4-12% en la mezcla. El porcentaje de agua a añadir es el 9,6 % para un resultado de cobertura mayor al 90%, resultado que cumple el mínimo especificado.

#### 4.5.3. Análisis del Contenido de Humedad Óptima Para la Compactación.

Resultado de la Gravedad Bulk Para las Briquetas de Prueba.

Nº BRIQUETA	Pérdida de Humedad para Compactación %	Gravedad Bulk promedio Gmb (gr/cm3)
3 - 4	2 %	2,19

FUENTE: Propia del autor.

El porcentaje de perdida de humedad antes de la compactación para un valor máximo de gravedad bulk, es 1,98 % se tomara el 2 % como porcentaje de perdida de humedad.

#### 4.6. Análisis de Propiedades y Criterio Para Determinar el Óptimo de Asfalto.

El criterio para la elección del contenido óptimo, estará en función al valor medio del intervalo especificado para las propiedades de la micro superficie, como también se utilizara el criterio de densidad seca máxima y la estabilidad saturada máxima.

Las especificaciones de la micro superficie asfáltica están descritas en “*Surface Rehabilitation Techniques State of the Practice Design, Construction, and Performance of micro-surfacing. Publication No. FWHA-SA-94-051.* pag.24.

STATE	AZ	PA	VA	CO	TX	TN	OH
<b>MARSHALL</b>							
1. Stability		1,800	1,800	1,800			1,800
2. Flow		6-16	6-16	6-16			6-16
3. Voids, %				4-6			
Hveem Stability, min.				35	35*		
Note:	Several other States (OK, NB, KS, ND) specify requirements for component materials, but do not specify any requirements for mixture.						
*	Hveem is generally required when application thickness exceeds twice the maximum aggregate size. Texas is evaluating variations of ISSA mixture design tests for inclusion in its specification.						

Se utilizara los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el capítulo III, donde se determinó las propiedades volumétricas de la mezcla mediante los ensayos de



Estabilidad y flujo, se relacionara las propiedades de la mezcla con el contenido de asfalto mediante gráficas, los criterios para determinar el porcentaje óptimo son:

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		CRITERIOS DE DISEÑO
DENSIDAD	-----	-----	MÁXIMA DENSIDAD SECA
% VACÍOS	4	6	5%
ESTABILIDAD (Lb)	> 1800 Lb. (50 Golpes)		MÁXIMA ESTABILIDAD SATURADA
FLUENCIA 1/100"	6	16	11%

#### 4.6.1 Gravedad Específica Bulk Seca vs. Contenido de Asfalto (%)

El primer aspecto que es considerado en el estudio es la Gravedad Especifica Bulk seca de las briquetas, la gravedad específica no es una propiedad de la mezcla de sello, esta propiedad es el resultado de la compactación con la humedad óptima, pero se relaciona con la propiedad de porcentaje de vacíos, a mayor densidad menor porcentaje de vacíos y menor porcentaje de vacíos menor porosidad lo que conduce a una mayor durabilidad del tratamiento.

**Tabla 4.5.** Resultados de la Gravedad Específica Bulk Seca.

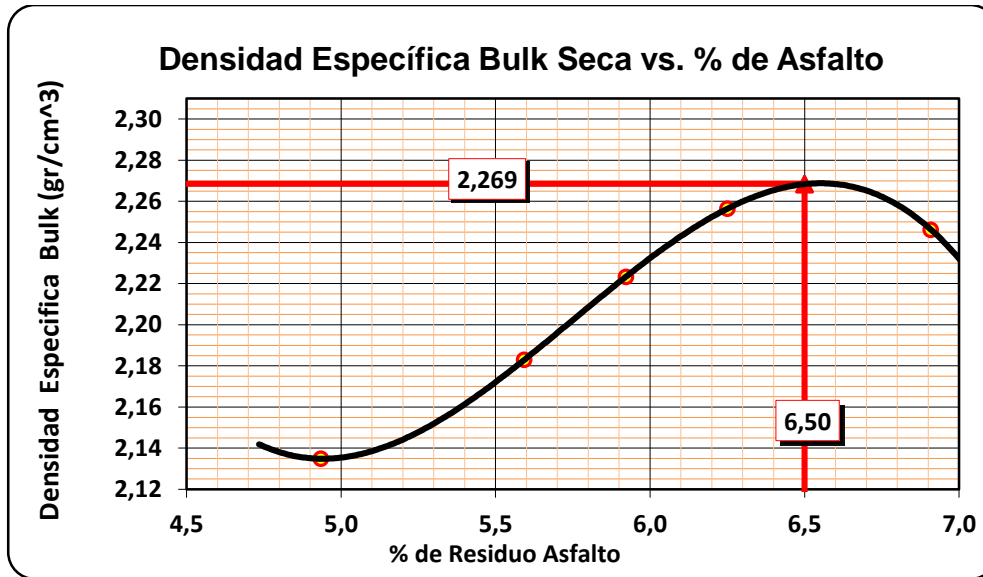
% RESIDUO DE ASFALTO	Gravedad Bulk Seca Promedio Gmb (gr/cm3)
4,9	2,13
5,6	2,18
5,9	2,22
6,3	2,26
6,9	2,25

Fuente: propia del autor.

La relación de la gravedad y el % de residuo de asfalto, se determinó en la gráfica el porcentaje de asfalto, para la Gravedad Especifica Bulk seca máxima presente en la

mezcla compactada, Gravedad Bulk seca de 2.269 para un residuo asfáltico de 6,5 % representado en el gráfico 4.3.

**Gráfico 4.3.** Gravedad Específica Bulk Seca vs. % de Asfalto.



Fuente: propia del autor.

También en la gráfica se observa que: a mayor cantidad de asfalto, la densidad también se incrementa, y que conduce también a una mayor estabilidad, pero esta estabilidad decrece cuando los agregados pierden la fricción entre ellos por el exceso de asfalto, al ser un agregado fino la fricción es una propiedad que soportara las cargas verticales del tránsito, las densidades mayores se encuentran entre 6,3 – 6,9 % de asfalto, se tomara como un parámetro de diseño la densidad específica bulk seca de 2,269 para un valor medio de asfalto de 6,5 %.

#### 4.6.2. Vacíos Totales Máximos VTM % vs. Residuo de Asfalto (%)

Los vacíos Totales Máximos (VTM) son los espacios intergranulares ocupados por el aire más humedad en la mezcla asfáltica compactada y se expresa como porcentaje del volumen total. Los valores mostrados en la tabla 4.6 son los equivalentes a cada porcentaje de asfalto, inicialmente los valores de VTM disminuyen de 13,26% hasta un valor mínimo de 3,52 % al incrementar el porcentaje de asfalto disminuye el porcentaje de vacíos, como se presenta en la gráfica 4.4.

**Tabla 4.6.** Resultados de Vacíos Totales Máximos (%).

<b>% RESIDUO DE ASFALTO</b>	<b>% de vacíos Totales Promedio</b>
<b>4,9</b>	<b>13,26</b>
<b>5,6</b>	<b>8,63</b>
<b>5,9</b>	<b>6,28</b>
<b>6,3</b>	<b>4,25</b>
<b>6,9</b>	<b>3,52</b>

Fuente: propia del autor.

La cantidad de vacíos totales para las micro superficies asfálticas que debe contener la mezcla está en función al propósito de la aplicación de la técnica sobre la carretera, el objetivo de la técnica en la carretera es proveer una superficie nueva con característica antideslizante y corrija la falla de superficie deslizando, generado por el desgaste por abrasión y se presenta con mayor frecuencia en todo el tramo de la carretera, la aplicación de la micro superficie del tipo III, corregirá la superficie nivelando de la superficie y proporcionando una capa antideslizante de la rodadura.

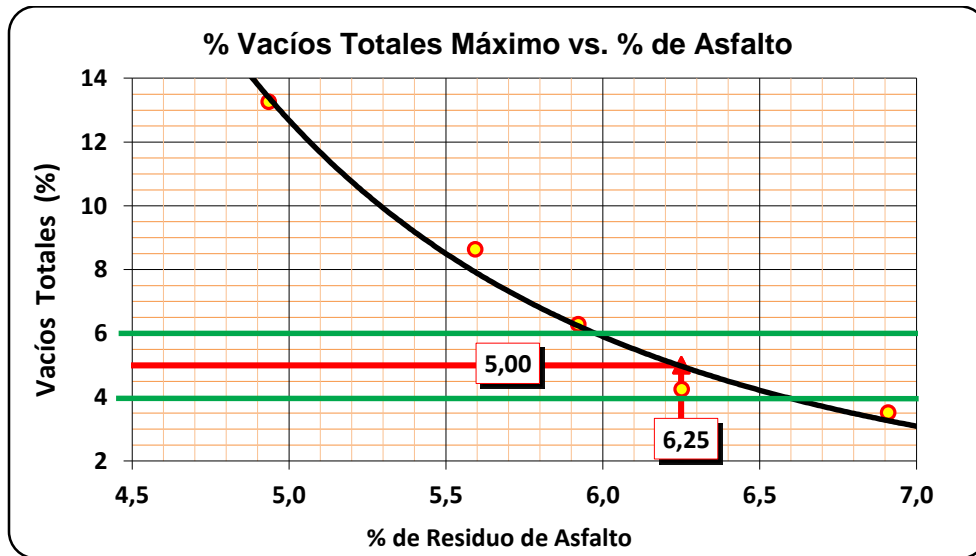
**RECOMMENDED PERFORMANCE GUIDELINES FOR MICRO-SURFACING ISSA 2000**

<b>Slurry Seal</b>	<b>Micro-Surfacing</b>
Compatibility Test VTM -60	Certification of compatibility of Latex, Aggregate and Emulsion
Wet-Track Abrasion VTM-14 (WTAT) Wear loss not greater than 75 gr/ft <sup>2</sup>	Marshall Test Stability: 1800 lbs minimum Minimum Flow: 6 – 16 units VTM: 4.7% leveling and finish, 6.5% ruffill

Fuente : SLURRY SURFACING CERTIFICATION STUDY GUIDE "Virginia Department of Transportation" 2011

El porcentaje de vacíos Totales Máximos de diseño en la mezcla compactada, para el mantenimiento propuesto se diseñara con 5 % de VTM<sup>13</sup>, y el porcentaje de Asfalto obtenido se determina en la gráfica 4.4, se ubica el 5% de VTM y se obtiene el porcentaje de residuo de asfalto de 6,25 %.

**Gráfico 4.4.** Vacíos Totales Máximos vs. % de Asfalto.



Fuente: propia del autor

#### 4.6.3. Estabilidad Seca y Húmeda vs. Contenido de Asfalto (%) (ASTM D 1559-AASHTO T245-MS 14).

Los resultados de Estabilidad seca y estabilidad saturada del ensayo se presentan en la tabla 4.7.

Analizando el gráfico de Estabilidad y los resultados obtenidos de la Estabilidad húmeda y la Estabilidad seca, donde existe una disminución notable entre el 20 % a 7 % de la estabilidad húmeda con respecto a la estabilidad seca (la Perdida de Estabilidad se analiza en el siguiente subtítulo 4.6.4), la saturación de las briquetas sumergidas al baño maría durante una (1) hora y a temperatura ambiente de 22°C, si tiene incidencia en la reducción de la estabilidad de la micro superficie, una propiedad mecánica que

<sup>13</sup> Fuente: SLURRY SURFACING CERTIFICATION STUDY GUIDE "Virginia Department of Transportation" 2011

deberá ser un dato de referencia en la influencia del agua sobre la estabilidad de la superficie y los resultados obtenidos son los siguientes:

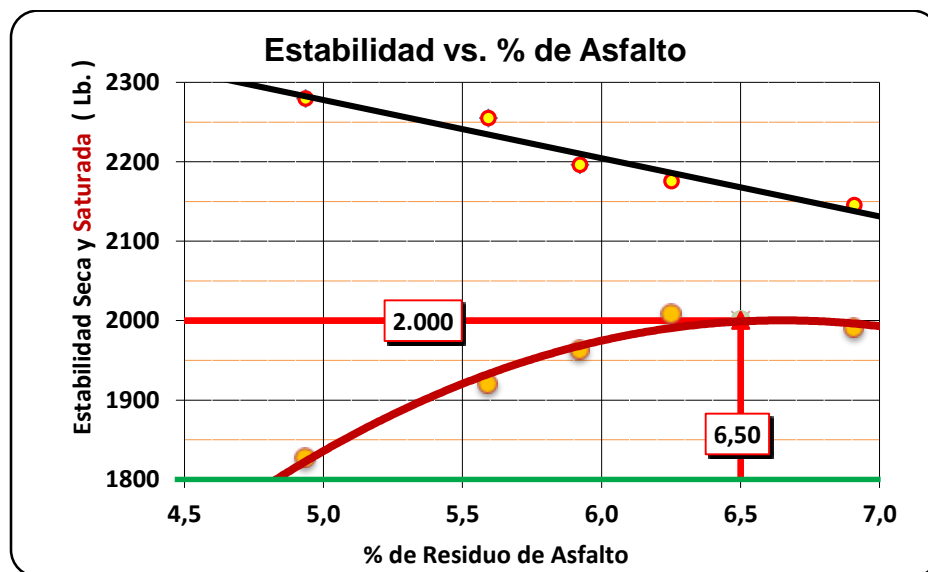
**Tabla 4.7.** Resultados de Estabilidad Seca y Saturada.

% RESIDUO DE ASFALTO	Estabilidad Seca Promedio Lb.	Estabilidad Saturada Promedio Lb.
4,9	2279,5	1827,3
5,6	2254,8	1920,5
5,9	2196	1963,7
6,3	2175,4	2080,3
6,9	2145,2	1991,1

Fuente: propia del autor.

Los resultados de la estabilidad húmeda, nos indica que el mayor problema en la mezcla de sello es generado por la presencia de agua y que deriva en: la pérdida de cohesión que conduce a la disminución de la capacidad portante de la misma.

**Gráfico 4.5.** Estabilidad Seca y Saturada vs. % de Asfalto.



Fuente: propia del autor

El criterio para el valor crítico de estabilidad de la mezcla asfáltica es el que proporciona la mayor estabilidad en condición húmeda que es de 2000 libras, cuidando que el contenido de asfalto al cual pertenezca este punto sea tal que no pertenezca al máximo de asfalto y no influya en las demás propiedades y además cumpla con los parámetros establecidos por la norma.

**4.6.4. Pérdida de Estabilidad (%) vs. Residuo de Asfalto (%).** (ASTM D 1559, AASHTO T 245 y MS – 14)

Las briquetas elaboradas para determinar el óptimo de asfalto del diseño de la mezcla (treinta briquetas) se dividieron en dos (2) grupos de probetas, ambos grupos curados veinticuatro (24) horas al aire en el molde luego en el horno a 38°C, finalizando el curado a temperatura ambiente por 14 días para eliminar el agua que aun contenía la briqueta, este tiempo se asumió por experiencias en trabajos similares, realizados en otros países<sup>14</sup>, con buenos resultados y además para reemplazar el desecado en el equipo de desecación al vacío, equipo con el que no se cuenta, uno de estos grupos se ensayó en seco, el otro se sometió a un ensayo de Inmersión en el baño maría a temperatura ambiente de 22°C.

La pérdida de estabilidad de seca a húmeda tiene un máximo de 50%, tabla 4.8.

**Tabla 4.8:** Criterios de Diseño Para Mezclas Asfálticas en Frio con Emulsión

ENSAYO	MÍNIMO	MÁXIMO
Estabilidad	2224 N (500 lbs)	--
Pérdida de Estabilidad	--	50%
Cubrimiento del árido	50%	--

Fuente: Manual de carreteras ABC v4a

La pérdida de estabilidad es la diferencia de la estabilidad de briquetas en estado seco y estado saturado, los resultados se muestran en la tabla 4.9 y el grafico 4.6, se observa particularmente la tendencia a perder estabilidad cuando el residuo asfáltico es bajo, esta pérdida no es tan significativa, sin embargo el óptimo de asfalto debe asegurar que en la condición de humedad, la mezcla mantenga la cohesión interna del agregado con el asfalto residual.

<sup>14</sup> Norma francesa NF P 98-251-4 (Serfass, et al, 2003), estándar de curado de 14 días a 18°C – 50% de humedad relativa

Para la condición anterior el valor (pérdida de estabilidad) disminuye a medida que aumenta el porcentaje de residuo asfáltico.

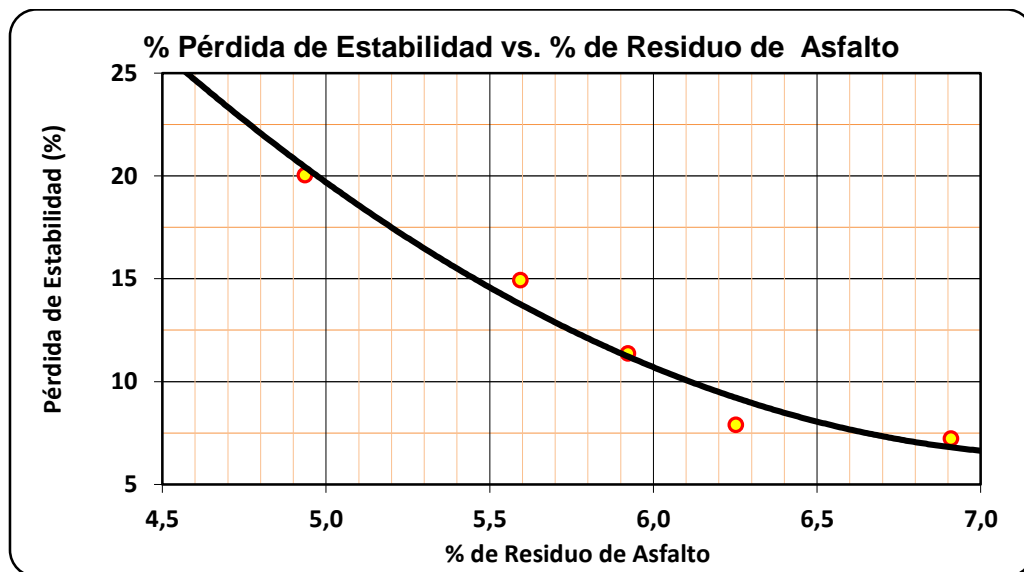
**Tabla 4.9.** Resultados de Pérdida de Estabilidad (%) de Briquetas Secas y Húmedas

% RESIDUO DE ASFALTO	% de Pérdida de Estabilidad
4,9	20
5,6	15
5,9	11
6,3	8
6,9	7

Fuente: propia del autor

El diseño de la micro superficie la pérdida de estabilidad no es parte de los criterios para el diseño, pero el contenido óptimo de asfalto debe ser inferior a la especificada, con una pérdida de estabilidad < 50%.

**Gráfico 4.6.** Pérdida de Estabilidad (%) de Briquetas Secas y Húmedas.



Fuente: propia del autor

#### 4.6.5. Humedad Absorbida vs. Contenido de Asfalto (%)

La mezcla asfáltica de micro superficies asfálticas, una característica importante de su comportamiento sobre la capa de rodadura, es de sellar las fisuras presentes en el pavimento y evitar el ingreso de agua que deterioren las capas granulares o viceversa, esta propiedad para los diferentes contenidos de residuo asfáltico los resultados varían de 0,7 % hasta 4,2 % de absorción de humedad, descritos en la tabla 4.10.

**Tabla 4.10.** % de Humedad Absorbida para Cada % de Residuo Asfáltico.

% RESIDUO DE ASFALTO	% de Humedad Absorbida.
4,9	4,2
5,6	2,7
5,9	2,5
6,3	1,6
6,9	0,7

Fuente: propia del autor

La micro superficie por sus características de impermeabilizante y proteger al pavimento, el porcentaje de absorción de humedad para el óptimo tendrá un valor inferior al especificado.

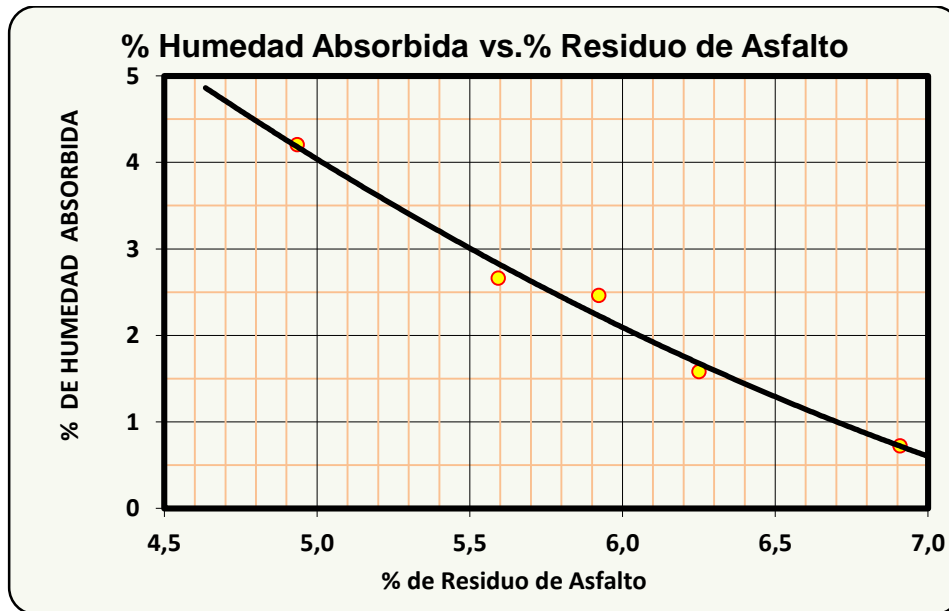
Description	Characteristics of CAEMs (Average values)					AFT * Micron (µm)
	Soaked Stability (kN)	Retained Stability (%)	Dry Bulk Density (gr/cc)	Porosity (%)	Water Abs. (%)	
<b>CAEMs using Total Emulsion (100pen) [14]:</b>						
Medium Compaction						
ORAC = 6 % (soaked sample)	15.125	92.137	2.073	12.575	0.647	14.98
Heavy Compaction						
ORAC = 6 % (soaked sample)	17.558	90.678	2.155	9.155	0.694	14.98
<b>Dense Emulsified Bitumen Macadam (100pen) [11]:</b>						
Medium Compaction				18.73		
2 x 50 blows Marshall Hammer						
Heavy Compaction				16.31		
2 x 75 blows Marshall Hammer						
<b>Summary of Specifications [2,5]:</b>						
The Asphalt Institute, 1989, 1997, at 22°C	2.225	50 (min)	-	-	-	-
The MPW-RI, 1990 at room temp. Compactor: Marshall Hammer	3.0	50 (min) 2 x 50 blows Marshall Blows (Medium Compaction)	-	5 - 10	4 (max)	8 (min)

Fuente: N. A. Thanaya / Review and Recommendation of Cold Asphalt Emulsion Mixtures (CAEMs) Design / CED, Vol. 9, No. 1, 49-56, March. 2007



Esta propiedad de la micro superficie no es parte de los criterios de diseño, pero el óptimo de asfalto determinado deberá contener un porcentaje de humedad absorbida menor a 4 %.

**Gráfico 4.7.** Humedad Absorbida (%) vs. % de Residuo de Asfalto.



Fuente: propia del autor

#### **4.6.6. Flujo de Briquetas Seca y Húmeda vs. (%) de Residuo de Asfalto.**

Este ensayo de flujo de las briquetas se realiza de manera paralela al ensayo de estabilidad, la prensa Marshall al aplicar esfuerzos diametralmente a la briketa también mide la fluencia que es la deformación por efecto de la carga aplicada para determinar la estabilidad. Las condiciones de las briquetas es la misma de la estabilidad seca y saturada.

Los resultados se presentan en la tabla 4.11, de la fluencia seca y saturada.

Como se muestra en el grafico 4.8, los valores de flujo aumentan con los incrementos del porcentaje de emulsión asfáltica hasta un máximo de 18 1/100". Los parámetros de diseño de flujo está dentro un intervalo especificado (6 min – 16 máx.), y el criterio que se utiliza son los valores medios de la especificación.

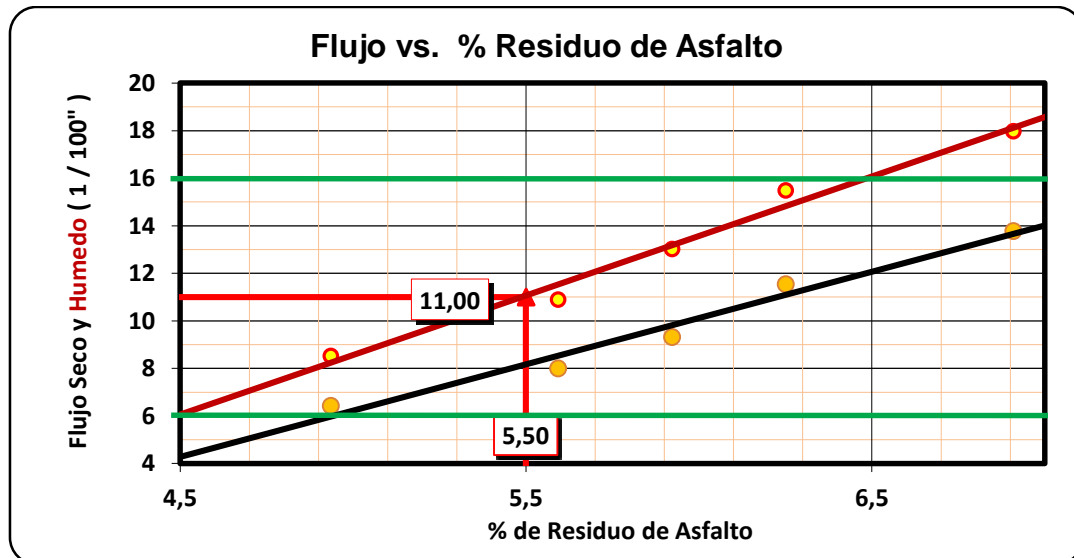
**Tabla 4.11.** Resultado de Flujo de Briqueta Seca y Húmeda.

% RESIDUO DE ASFALTO	Flujo seco Promedio 1/100"	Flujo Saturado Promedio 1/100"
4,9	6,43	8,53
5,6	8,01	10,89
5,9	9,32	13,03
6,3	11,55	15,49
6,9	13,78	17,98

Fuente: propia del autor.

Para la condición crítica de fluencia húmeda, y el valor medio de esta propiedad es 11 (1/100)" y para este criterio de diseño se tiene un porcentaje de residuo asfáltico de 5,5%.

**Gráfico 4.8.** Flujo de Briquetas en Condición Seca y Húmeda vs. % de Asfalto.



Fuente: propia del autor.

#### 4.7. Resultado de los Requerimientos de Asfalto (%).

Tabla 4.12. Resultados de los Criterios de Diseño.

REQUERIMIENTO DE % DE ASFALTO PARA LOS VALORES DE DISEÑO				
CARACTERÍSTICAS	% RESIDUO DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRÁFICOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD BULK seca	6,50	2,269	-----	-----
% VACÍOS	6,25	5,00	4	6
Perdida de Estabilidad %				≤ 50
Humedad Absorbida %				≤ 4
ESTABILIDAD Saturada (Lb)	6,50	2000	> 1800 Lb. (50 Golpes)	
FLUENCIA Saturada 1/100"	5,50	11,0	6	16
PROMEDIO ( % )	<b>6,19</b>	Determinación del contenido óptimo de Asfalto. Tomando en cuenta los Criterios de: <b>Densidad, Vacíos, Estabilidad Saturada, y Fluencia saturada</b>		

Fuente: propia del autor.

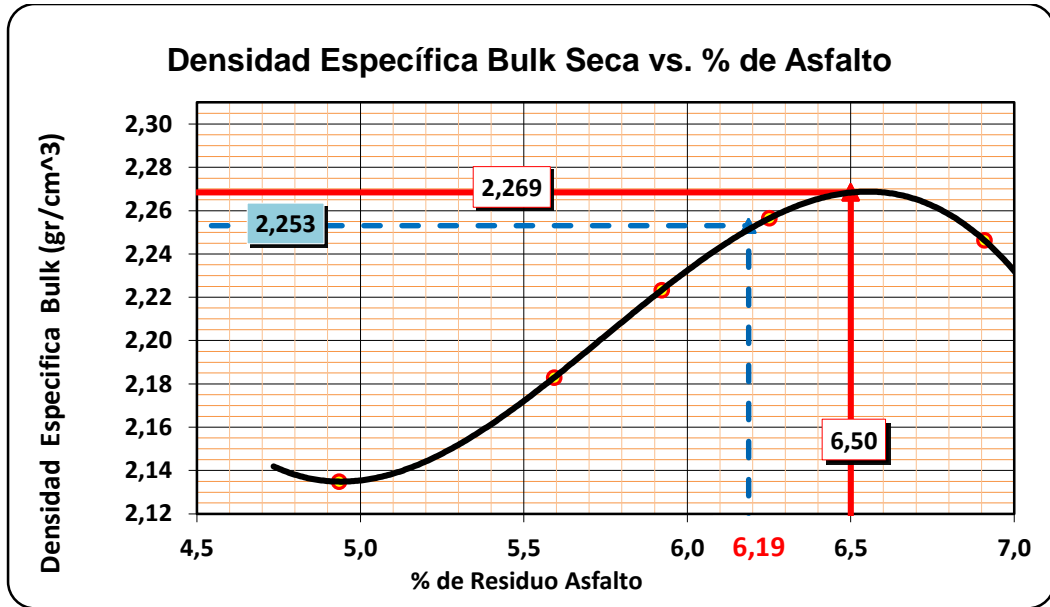
El porcentaje óptimo de asfalto residual de la emulsión es de 6,19 % es un valor promedio que cumple con las propiedades de forma relativa, en algunas propiedades estará por encima del valor asignado, en otras por debajo.

El porcentaje óptimo de residuo asfáltico de 6,19% se verifica en las gráficas analizadas anteriormente, para conocer las propiedades finales de diseño de la micro superficie asfáltica.

#### 4.8. Determinación de Características y Propiedades Volumétricas Finales.

La determinación de las propiedades están en función al porcentaje óptimo de asfalto determinado de 6,19 %, se localiza este valor en cada una de las gráficas (línea color azul claro segmentada), se traza una línea perpendicular a 6,19% sobre el eje de la abscisa hasta intersectar con la línea de tendencia de la gráfica, se traza otra recta paralela al eje de la abscisa en el punto intersectado extendiéndose hasta el eje de las ordenadas (línea color azul claro segmentada), la intersección con este eje determina el valor final de la propiedad con el óptimo de asfalto para la micro superficie, se obtiene para todas la propiedades de manera similar en todas las gráficas.

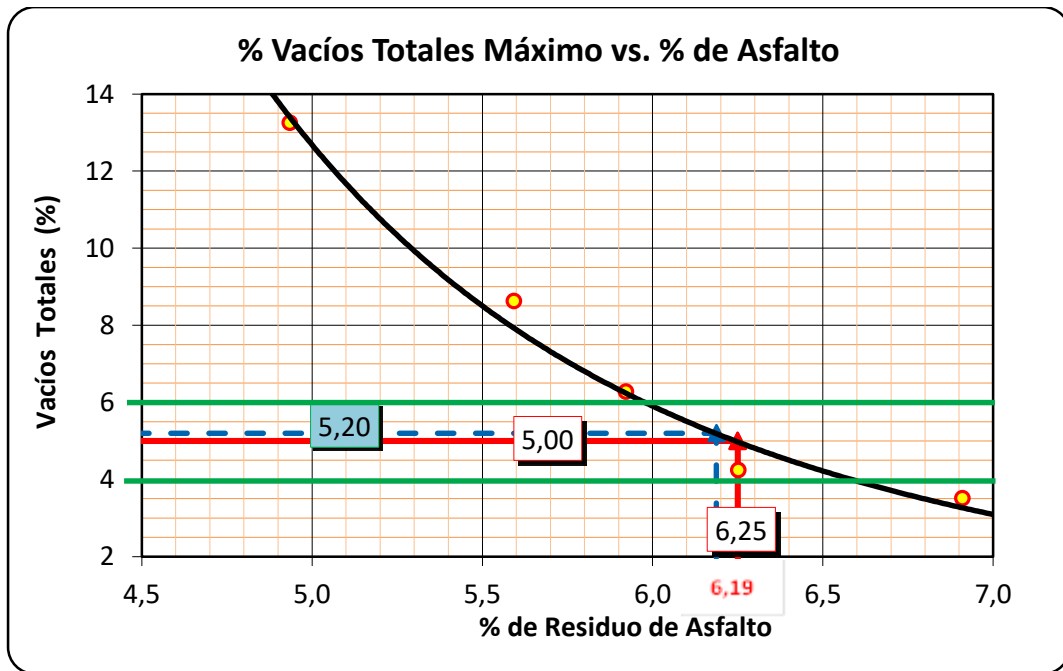
**4.8.1. Densidad Específica Bulk Seca: Para 6,19% de Residuo Asfáltico.**



Fuente: propia del autor.

**Densidad Especifica Bulk Seca = 2,253 gr./cm<sup>3</sup>**

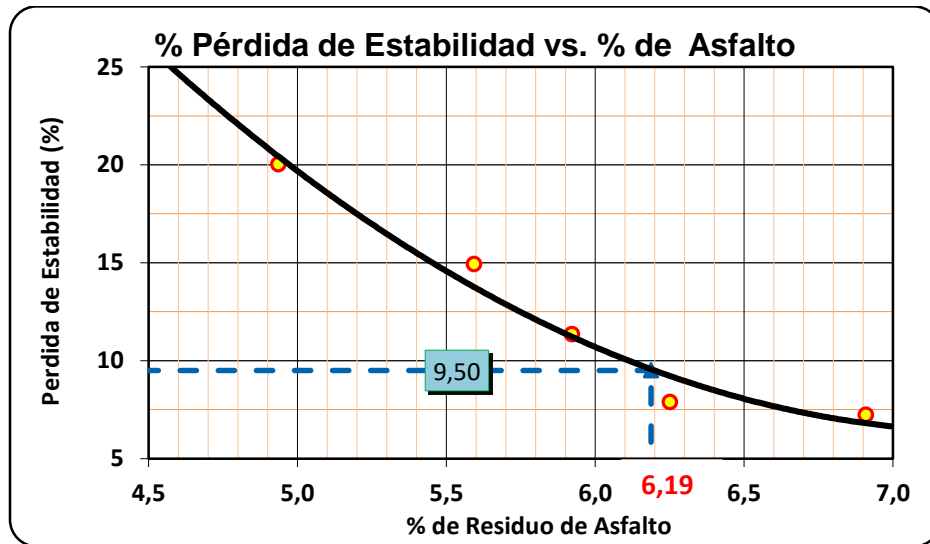
**4.8.2. Porcentaje de Vacíos Totales: Para 6,19% de Residuo Asfáltico**



Fuente: propia del autor.

**Porcentaje de Vacíos Totales Máximo = 5,20 %**

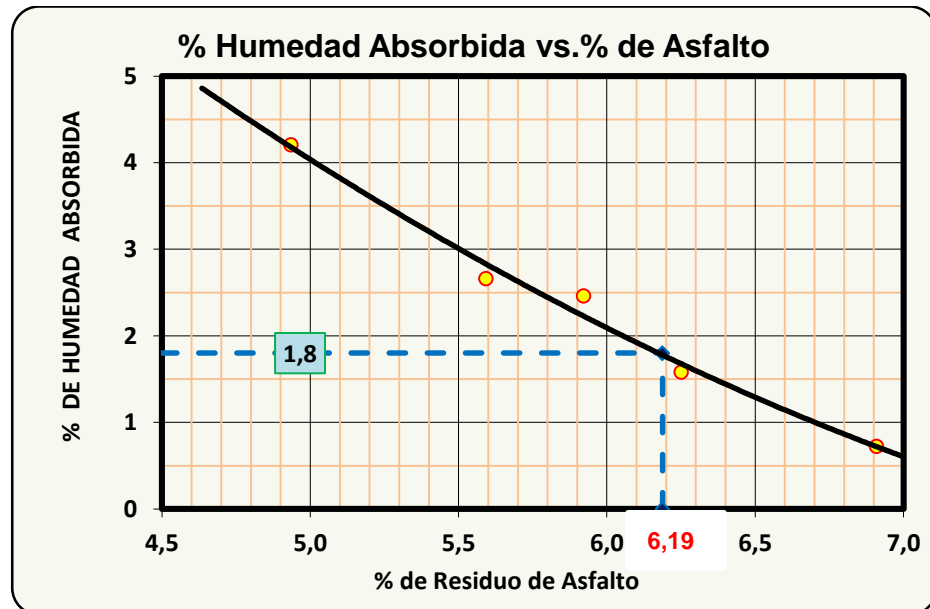
#### 4.8.3. Porcentaje de Pérdida de Estabilidad: Para 6,19% de Residuo Asfáltico



Fuente: propia del autor.

**Porcentaje de Pérdida de Estabilidad = 9,5 %**

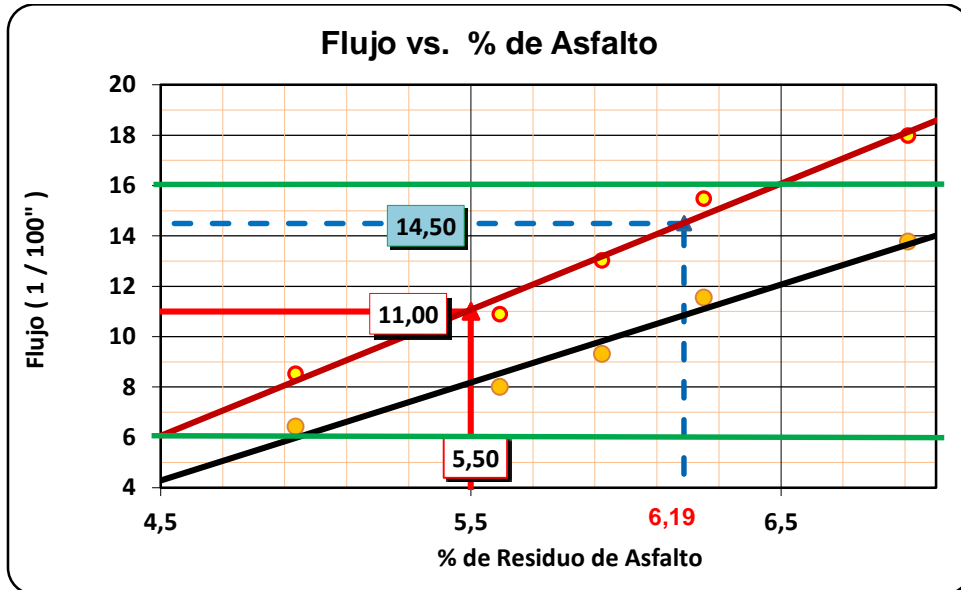
#### 4.8.4. Porcentaje de Humedad Absorbida: Para 6,19% de Residuo Asfáltico



Fuente: propia del autor.

**Porcentaje de Humedad Absorbida = 1,8 %**

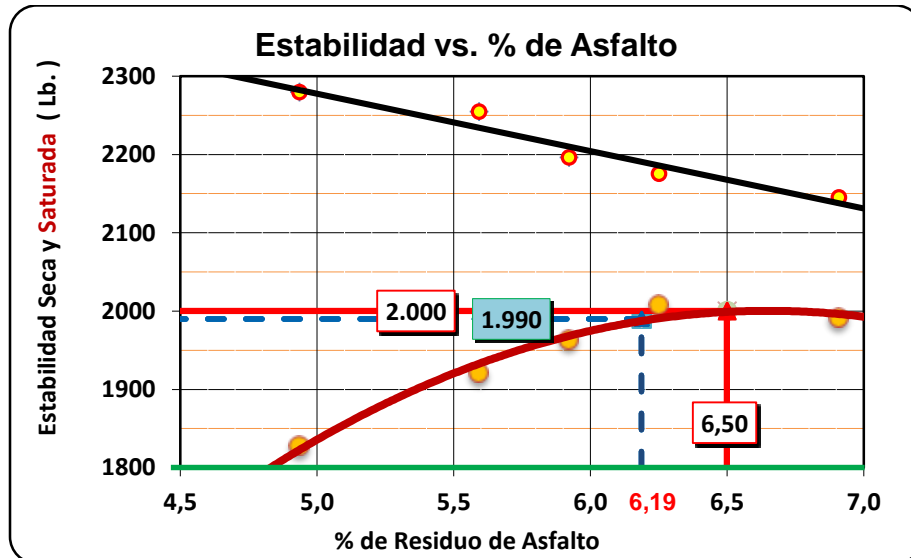
**4.8.5. Fluencia:** Para 6,19% de Residuo Asfáltico



Fuente: propia del autor.

**Fluencia Humeda = 14,5 1/100''**

**4.8.6. Estabilidad Saturada:** Para 6,19% de Residuo Asfáltico



Fuente: propia del autor.

**Estabilidad Saturada = 1990 lb.**

**4.9. Resumen de Resultados de las Propiedades de la Micro Superficie con el Óptimo de Asfalto (%).**

RESULTADOS OBTENIDOS DEL DISEÑO MARSHALL MODIFICADO				
CARACTERÍSTICAS	% RESIDUO DE ASFALTO	VALORES CON EL % ÓPTIMO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	6,19	2,253	-----	-----
% VACIOS	6,19	5,20	<b>4</b>	<b>6</b>
PERD. DE ESTABILIDAD %	6,19	9,50		≤ 50
HUMEDAD ABSORBIDA %	6,19	1,80		≤ 4
ESTABILIDAD HUMEDA (Lb)	6,19	1990,0	>1800 Lb.(50 Golpes)	
FLUENCIA HUMEDA 1/100"	6,19	14,50	<b>6</b>	<b>16</b>
<b>% DE RESIDUO ÓPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO</b>			<b>6,19</b>	

Fuente: propia del autor.

**4.10. Dosificación de Materiales para el Diseño.**

DOSIFICACIÓN:		
<b>MICRO SUPERFICIE ASFÁLTICA TOTAL</b>	ARENA PASA TAMIZ N° 3/8	89,7 %
	FILLER Cemento Portland Normal	1 %
	<b>AGREGADOS</b>	<b>90,6 %</b>
	Aditivo AL <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0,5 %
	<b>EMULSIÓN ASFÁLTICA</b>	<b>9,4 %</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

Fuente: propia del autor.

#### 4.11. RESULTADOS DEL DISEÑO MARSHALL MODIFICADO

**Tabla 4.13.** Parámetros y Resultados del Diseño Marshall (ISSA.TB-148).

PARÁMETROS	CRITERIO DE DISEÑO MÉTODO MASHALL MODIFICADO		RESULTADOS DEL DISEÑO
	Mínimo	Máximo	
Numero de golpes de compactación	50	75	50
Perdida de humedad antes de la compactación (%)	-----	-----	2
Gravedad Especifica Bulk Seca	-----	-----	2,253
Vacíos Totales Máximo (VTM) (%)	4	6	5,2
Estabilidad Seca (lb.)	-----	-----	2170
Estabilidad Saturada (lb.)	1800		1990
Perdida de Estabilidad (%)	-----	50	9,5
% de Humedad Absorbida (%)	-----	4	1,8
Flujo 1/100" (Húmeda)	6	16	14,5
% de asfalto Residual Optimo	5,5	10,5	6,19

Fuente: Instituto del asfalto MS-14, ISSA TB-148

**Tabla 4.14.** Resultados del Diseño con el (%) óptimo del residuo de Asfalto.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES	RESULTADOS DEL DISEÑO CON EL % ÓPTIMO DE ASFALTO RESIDUAL
Numero de golpes de compactación en ambas caras	50
Perdida de humedad antes de la compactación (%)	2
Gravedad Especifica Bulk Seca	2,26
Vacíos Totales Máximo (VTM) (%)	5,4
Estabilidad Seca (lb.)	2248
Estabilidad Saturada (lb.)	1973
Perdida de Estabilidad (%)	11,58
% de Humedad Absorbida (%)	2,05
Flujo 1/100" (Húmeda)	14,6

#### 4.12. Costo Unitario de la Micro Superficie Asfáltica.

PRECIO UNITARIO (m2)	TÉCNICA DE MANTENIMIENTO
	Bs.



#### 4.13. Características y Propiedades del Micro Pavimento en Caliente<sup>15</sup>.

Relación Materiales / Asfalto.

<b>3/4</b>	<b>0.0 %</b>	<b>En peso</b>
<b>3/8</b>	<b>9.27 %</b>	<b>En peso</b>
<b>Arena Triturada</b>	<b>37.06 %</b>	<b>En peso</b>
<b>Arena Natural</b>	<b>46.33 %</b>	<b>En peso</b>
<b>C.A. 85 - 100</b>	<b>7.35 %</b>	<b>En peso</b>

**Tabla 4.15.** Características y propiedades del Micro pavimento en caliente.

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA			ESPECIFICACIÓN	
Descripción	UNIDAD	VALOR	MIN.	MAX.
Peso específico de C.A.	Gr./cc.	1.012	1.00	1.05
Densidad teórica	Gr./cc.	2.398		
Densidad Real de la mezcla	Gr./cc.	2.262		
Vacíos Totales	%	5.81	2	8
Vacíos de agregado mineral	%	21.9	> 15	
Relación Bitumen vacíos	%	74.5	75	82
Estabilidad	Libras	1440.2	500	
Fluencia	1/100"	9.8	8	18*
% de cemento asfáltico	%	7.21		
capacidad de soporte Marshall	Lbs./Pulg.	162	140	
Concentración Crítica (Cs)		0.3693		
Concentración en volumen (Cv)		0.2757		
Relación (CV/Cs)		0.7465		1
Estabilidad / Fluencia	kg.cm.	2079	2500	
Índice de compactación		12.19	6	
Adherencia	%	100		
Temperatura de aplicación	°C	147 - 150		
Temperatura de compactación	°C	126 - 136		
caras fracturadas	%	94	75	
Equivalente de arena	%	63.5	60*	

\* Según el Instituto del asfalto (E.U.A.).

#### 4.14. Costo Unitario del Micro Pavimento en Caliente (Espesor de 30 mm).

PRECIO UNITARIO (m2)	TÉCNICA DE MANTENIMIENTO
	Micro Pavimento en caliente
<b>Bs.</b>	<b>29.65</b>

<sup>15</sup> Datos extraídos de la tesis (ANEXO A2-16 y 17) "Análisis y diseño del micro pavimento para el mantenimiento de vías Urbanas" autor: Mohammed Jamit Veramendy Eid U.A.J.M.S. Tarija - 2005

#### 4.15. Comparación Técnica y Económica de Alternativas.

**Tabla 4.16.** Comparación de Propiedades Volumétricas.

PROPIEDADES	MICRO PAVIMENTO	
	Espesor = 10 mm.	Espesor = 30 mm.
	MEZCLA EN FRÍO	MEZCLA EN CALIENTE
Gravedad Especifica Bulk Seca	2,26	2,262
Vacíos Totales Máximo (VTM) (%)	5,4	5,81
Estabilidad Húmeda (lb.)	1973	1440
Flujo 1/100" (Húmeda)	14,6	9,8
% de Humedad Absorbida (%)	2,05	-----
% de asfalto Residual Optimo	6,19	7,21

**Costo de Operación de la Carretera:** El costo de operación para el tramo del pavimento rehabilitado al tener una mejor superficie, alargando la vida de los vehículos evitando que se dañen y minimizando su mantenimiento. El costo de consumo de combustible se reducirá, como también algunos accesorios tendrán mayor duración para su reemplazo.

**Costo Social de Mantenimiento:** En el recitado del pavimento con mezcla asfáltica en caliente, se ejecutaran desvíos y se habilitan rutas alternativas, aspectos que serán perjudiciales a los habitantes que se encuentran a lo largo del tramo y los usuarios. Con el mantenimiento superficial propuesto, se minimizan éstos aspectos.

**Facilidad de Construcción:** El costo de la construcción del micro pavimento en frio con plantas deslizantes de mezclado de alto rendimiento y maquinaria de extendido altamente especializada en la aplicación de carreteras y áreas urbanas, estas dos maquinarias se encuentran incorporados en un camión, que realiza la mezcla y entendido de micro aglomerado en frio sobre la superficie de la carretera.

**Tabla 4.17.** Características del Tiempo de Mezclado.

CARACTERÍSTICA	MICRO PAVIMENTO	
	Espesor = 10 mm.	Espesor = 30 mm.
	MEZCLA EN FRÍO	MEZCLA EN CALIENTE
Tiempo de Mezclado (seg.)	155 seg.	-----

**Protección y Sellado:** Propósitos principales de su aplicación para la conservación del pavimento.

**Tabla 4.18.** Características de Sellado.

CARACTERÍSTICA	MICRO PAVIMENTO	
	Espesor = 10 mm.	Espesor = 30 mm.
	MEZCLA EN FRÍO	MEZCLA EN CALIENTE
Impermeabilización.	60°C.	135°C.
Viscosidad Cinemática (Poise)	0,5 - 10	100 - 4000
% de Humedad Absorbida (%)	2,05	< 10%

**Indeformabilidad:** En las zonas de frenado y arranque de vehículos pesados, tramos con pendientes altas , esfuerzos tangenciales y de torsión, generados por la alta velocidad de la rueda y en un tramo en curva, donde el polímero es el principal componente que incrementa la resistencia del micro pavimento en frio, evitando el desprendimiento de agregados y las deformaciones por efecto de la fatiga, donde el agregado resiste este efecto por la fricción de partículas y el asfalto modificado contrarresta este efecto devolviéndolo a su condición anterior y de esta manera la micro superficie no se deforma.

**Tabla 4.19.** Característica de Plasticidad.

CARACTERÍSTICA	MICRO PAVIMENTO	
	FLUENCIA (1/100)"	
	MEZCLA EN FRÍO	MEZCLA EN CALIENTE
Plasticidad (mm.)	14,8	9,8

**Durabilidad:** Las micro pavimento de en caliente dura más tiempo. Pero la micro superficie tiene mayor resistencia de estabilidad. La micro superficie asfáltica incrementa su cohesión y gana resistencia con el tiempo, la mezcla asfáltica en caliente con el tiempo disminuyendo notablemente su propiedad de flujo y esta deficiencia incrementa su fragilidad.

**Tabla 4.20.** Característica de la Cohesión.

CARACTERÍSTICA	MICRO PAVIMENTO	
	Espesor = 10 mm.	Espesor = 30 mm.
	MEZCLA EN FRÍO	MEZCLA EN CALIENTE
Habilitación al Tránsito (Horas)	1h.23min.	> 6 horas
Cohesión.	23 %	-----

**Resistencia:** La micro superficie asfáltica resiste a los efectos de la intemperie por la incorporación del polímero en la emulsión manteniéndose plástica por más tiempo. Su resistencia mejorada a las cargas transmitidas por los vehículos pesados, determinada por la especificación de los materiales de la técnica.

**Resistencia a Bajas Temperaturas:** La micro superficie con asfalto modificado con SBR, adquiere propiedades de plasticidad a bajas temperaturas, estabilizando el flujo de la micro superficie.

**Tabla 4.21.** Característica de Estabilidad Térmica a Bajas Temperaturas.

CARACTERÍSTICA	MICRO PAVIMENTO	
	FLUENCIA (1/100)"	
	MEZCLA EN FRÍO	MEZCLA EN CALIENTE
Plasticidad (mm.)	Estable	< Fluencia

**Textura y Seguridad:** La superficie de la micro superficie proporciona al pavimento tratado con una superficie antiderrapante, gracias a la calidad de los materiales, con los cuales se obtiene una textura con una mayor resistencia al deslizamiento. Evitando el fenómeno del acuaplaneo de vehículos (deslizamiento en superficies mojadas).

**Tabla 4.22.** Característica de la Textura Superficial.

CARACTERÍSTICA	MICRO PAVIMENTO	
	MEZCLA EN FRÍO	MEZCLA EN CALIENTE
	0,61 – 0,8	0,51 – 0,6
Péndulo Británico	0,66	0,55

**Ahorro de Energía:** No se requiere calentar ninguno de los ingredientes para elaborar la micro superficie (se ahorra energía), en la elaboración de la mezcla en caliente los

agregados y el asfalto deben calentarse a temperaturas elevadas. Aún después de elaborado, se deben mantener temperaturas más o menos elevadas dependiendo del tiempo de transporte y colocación, e incluso una temperatura mínima a la cual se debe compactar.

**Contaminación:** Las mezclas asfálticas contaminan el medio ambiente, durante su proceso de fabricación, al ser colocadas, no importando si se trata de mezclas en caliente o en frío e independientemente de una carpeta o de un bacheo rutinario. Las mezclas en frío **contaminan mínimamente** durante su fabricación y colocación.

**Tecnología:** Los equipos utilizados en el tendido de la mezcla, para la rehabilitación superficial de pavimentos es un proceso mecanizado, donde se emplea muy poca mano de obra, aspecto que acelera los tiempos de obra.

**Investigación y Desarrollo** La investigación de temas referidos a la innovación tecnológica de nuevas técnicas en el mantenimiento de pavimentos flexibles, donde de manera constantemente se obtienen nuevos resultados. El desarrollo de micro carpetas ultra delgadas con asfaltos modificados de alta resistencia pertenecen a la cuarta generación de micro carpetas de mezclas en frío, en la actualidad en muchos países ya se utiliza la quinta generación de estas mezclas en frío, en el cual la mezcla en frío es reforzada con fibras sintéticas, incrementando su resistencia y diseñadas como carpetas asfálticas de bajo espesor que son colocadas sobre la capa base preparada o sobre pavimentos flexibles deteriorados, donde se conforma como una “capa de rodadura compuesta” en el cual si aporta a la capacidad portante de la carpeta, con excelentes características y propiedades a un costo menor al de un recapamiento asfáltico.

**Vida Útil:** El micro pavimento en caliente su periodo de vida útil es de 7 – 10 años, pero en la técnica convencional es difícil predecir su comportamiento. Mientras que con la alternativa propuesta depende de la condición del pavimento y la severidad de las fallas del tramo de rehabilitación, el tiempo estimado de vida útil en buenas condiciones es de 3 – 5 años, pero con esta técnica no se conoce su comportamiento porque nuestras estructuras se encuentran en proceso de evaluación.

**Tabla 4.23.** Característica de Duración con Buen Comportamiento.

CARACTERÍSTICA	MICRO PAVIMENTO	
	MEZCLA EN FRÍO	MEZCLA EN CALIENTE
	4 - 8	7 - 10
Vida Útil (años)	3 - 5	7 - 10

**Costos Unitarios:** Para un espesor de 30 mm del micro pavimento en caliente, y un espesor de 10 mm de la mezcla en frío se tiene los siguientes precios:

**Tabla 4.24.** Comparación de Precios Unitarios.

PRECIO UNITARIO (m2)	TÉCNICA DE MANTENIMIENTO	
	MICRO PAVIMENTO	
	MEZCLA EN FRÍO	MEZCLA EN CALIENTE
Bs.	22.83	29.65

#### 4.16. Aplicabilidad de las Micro superficies en el Tramo de Estudio.

La alternativa propuesta de micro superficies asfálticas para el mantenimiento superficial del tramo “Puente Carlaso – Puente Jarcas”, en nuestro país, se puede realizar este tipo de mantenimiento con la técnica propuesta, porque se cuenta con los materiales y equipos necesarios para su aplicación en el tramo. Los materiales utilizados para el diseño que se detallan en la tabla y se adquirieron en el país.

**Tabla 4.25.** Materiales Disponibles en el País.

MATERIALES	MICRO SUPERFICIES ASFÁLTICAS		
	Marca o Empresa Proveedora	Ciudad	País de procedencia
Agregados Triturados	Agregados Triturados "ERIKA" S.R.L.	Tarija	Bolivia
Cemento Portland Normal.	"EL PUENTE"	Tarija	Bolivia
Sulfato de Aluminio	SOLQUIFAR	Santa Cruz	Bolivia
Agua	Cosaalt	Tarija	Bolivia
Emulsión asfáltica modificada SBR	EMULEX	Santa Cruz	Brasil

La empresa CTC Vías y Asfaltos de la ciudad de Santa Cruz, es una firma boliviana que se especializa en la producción y aplicación de mezclas en frío como: servicio de

aplicación de Slurry Seal y micro pavimentos y colocación de carpetas asfálticas en frío modificadas con polímero y la técnica del reciclado suelo – cemento.

La empresa cuenta con más de diez años de experiencia en la construcción y rehabilitación de pavimentos flexibles con los siguientes trabajos realizados en este periodo, los cuales son:

- Micro pavimento tramo carreras El Puente/Sucre



- Micro pavimento tramo Cuchu Ingenio-Sepulturas/ Potosí



- Micro pavimento tramo Vitichi/ Potosí



- Micro pavimento tramo falda de la Queñua/cruce San Lorenzo/ Tarija



- Micro pavimento ciudad de Guayaramerin



La empresa tiene su planta principal en el Parque Industrial Latinoamericano (Pilat) en Warnes, y cuenta con los siguientes equipos, laboratorios y el personal con experiencia en las mezcla en frio:

- Micropavimentadoras autopropulsadas
- Imprimadoras
- Plantas de mezcla en frio
- Compactadores neumáticos
- Palas cargadoras



- Planta de emulsiones asfálticas
- Laboratorio de asfaltos y diseños de mezclas
- Termo tanques de asfalto y/o emulsiones

El tramo tramo falda de la Quenua/cruce San Lorenzo/ Tarija fue construido en junio del año 2015, con micro superficies de granulometría tipo III y con asfalto modificado con polímero SBR, en la actualidad marzo del 2017 , después de dos años del mantenimiento este tramo se encuentra en buenas condiciones superficiales.

Condición actual del mantenimiento superficial del tramo Falda la Queñua “Cruce a San Lorenzo- Túnel”.

**Figura 5.1.** Cruce Ruta a San Lorenzo – Falda la Queñua.



**Figura 5.2.** Ruta Falda la Queñua, Características de la Superficie Antiderrapante.



**Figura 5.3.** Características Actuales (2017) de la Capa de Rodadura con Micro Superficies.



**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES.

Como conclusión de este trabajo de aplicación, mediante un control de calidad de los materiales y la micro superficie asfáltica se llegó a las siguiente conclusiones:

- Las especificaciones técnicas y normas para el diseño de mezclas en Frio que se describe en el MANUAL DE CARRETERAS DE LA ABC 4Va, fue un texto guía para realizar el diseño por este método, para las especificaciones de la micro superficie se consultó normas extranjeras, que si tienen las especificaciones para el tipo de mezcla (norma Chilena, FHWA: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation).
- El tramo “Puente Carlaso – Puente jarcas” con una longitud de 3151 metros, después de 10 años de servicio y luego de una evaluación de su condición, mediante el método PCI, el índice determinado mediante el método, la ASTM recomienda un mantenimiento con micro carpetas o riegos de lechadas, para mejorar su condición y prolongar su servicio; con lo que se concluye que este tramo presenta fallas de severidad media en todo el tramo de tipo superficial.
- Se evidenció que el tramo “Puente Carlaso – Puente jarcas” requiere un mantenimiento que corrija las fallas superficiales.
- La compatibilidad de los materiales utilizados para el diseño: el agregado triturado de la empresa “ERIKA”, asfalto emulsificado de industria Brasileira “Estratura” RR-2C Emulex (SBR: Estireno Butadieno de Rubber), y el efecto retardador para controlar el rompimiento de la emulsión asfáltica, del sulfato de aluminio de 80% de pureza del laboratorio “SOLQUIFAR” de industria Nacional.

- El cemento portland normal de la fábrica de cemento “El Puente” utilizado como llenante mineral, en el 1% para los siguientes propósitos: mejorar la deficiencia de material fino y controlar la rotura de la emulsión por su contenido de aluminio en su composición.
- La adición de 1% de cemento portland y 0,5% de sulfato de aluminio en polvo se obtiene 2 minutos y 45 segundos para el mezclado, el tiempo suficiente para su tendido sobre el pavimento.
- El contenido óptimo de 6,19% de asfalto para la mezcla de micro superficie, diseñado para el mantenimiento superficial del tramo “Puente Carlaso – Puente Jarcas” con un espesor de 10 mm fabricado con materiales que cumplen con las especificaciones de la norma ISSA 143<sup>a</sup> y ASTM D6372-99<sup>a</sup>, las propiedades mecánicas de: estabilidad saturada máxima de 1973 libras, porcentaje de vacíos de 5,4%, densidad seca máxima de 2,26 grs./cm<sup>3</sup> y un flujo en estado saturado de 14,6 mm, concluyéndose que la micro superficie asfáltica diseñada para el mantenimiento superficial del tramo cumple con las especificaciones de calidad para su aplicación en el proyecto de mantenimiento.
- La condición de humedad con respecto al clima seco en la zona de la carretera tiene influencia sobre la micro superficie, en proporción baja con una pérdida de estabilidad de 11,58%, esta condición crítica generada por las precipitaciones hidrológicas de las estaciones del año, que reducirá la cohesión de partículas del agregado con el asfalto, ensayo simulado para una (1) hora de saturación de briquetas.

El mantenimiento superficial del tramo con la técnica propuesta, tendrá las siguientes características:

- La impermeabilización del pavimento antiguo, protegiéndolo de la infiltración del agua y aire, característica que adquiere al ser aplicado la micro superficie con consistencia fluida, donde la emulsión asfáltica por su baja viscosidad

penetrara por la fisuras sellándolo protegiendo de esta manera toda la estructura del pavimento; la propiedad de absorción de la micro superficie diseñada, tiene un porcentaje de humedad absorbida de 2,05% valor relativamente bajo lo que reducirá la influencia del agua en la micro carpeta.

- La superficie antideslizante de la carretera es el resultado de las características de calidad de: agregado con 86% de partículas trituradas, con una excelente resistencia al desgaste por abrasión del 18%, propiedades que fueron determinantes para definir su característica antiderrapante de textura media con un coeficiente de fricción de 0,66 para la condición del pavimento mojado.
- Vida útil de micro superficie o la durabilidad sobre el pavimento está relacionada a dos factores el estado del pavimento donde será aplicado y el porcentaje de vacíos máximos totales (VTM), para un PCI de 56% según la tabla 4.1 el periodo de vida útil de la carretera es de 3- 5 años en condición eficiente si se realiza un mantenimiento de la carretera en la actual condición; el otro factor que determina la vida útil es el contenido de vacíos en la micro superficie que es considerado como el factor más importante que al ser aplicado sobre la carretera que le proporcionara los beneficios de la micro superficie a la carretera el valor de esta propiedad es de 5,4% un valor que se encuentra dentro del intervalo de calidad de la técnica que se expresara en la durabilidad y protección del pavimento.
- La fluencia de 14,6 (1/100”) que la define como mezcla plástica, propiedad adicionada por el polímero en el asfalto y que mantiene a la mezcla con esta propiedad, conservando su alta cohesión.
- La cohesión de la micro superficie es una propiedad que se incrementa con el tiempo, determinado mediante el ensayo de cántabro “Caracterización de mezclas asfálticas mediante la pérdida de cohesión por abrasión”, con un resultado del ensayo < 25 %.

- El tiempo para la apertura al tránsito es de 1 hora y 23 minutos.

Conclusiones de la comparación técnica y económica de la técnica propuesta con un micro pavimento en caliente:

- Las propiedades mecánicas mejoradas de la micro superficie sobre el micro pavimento en caliente son: mayor estabilidad, menor intervalo del porcentaje de absorción y menor porcentaje de vacíos.
- Ambas técnicas son para la corrección de la superficie del pavimento y como sello, la mezcla en caliente para cumplir con esta propiedad de impermeabilizante exige una cantidad alta de asfalto en la etapa de imprimación; y la superficie antideslizante no ofrece efectividad a altas velocidades porque presenta una micro rugosidad similar al papel de lija; su alta fluencia y su baja estabilidad para un espesor de 30 mm implicaría que con el tiempo se generen deformaciones del micro pavimento; su espesor de 30 mm modificaría el perfil transversal de la carretera que conduciría a agregar actividades adicionales en el ingreso y salida de los puentes.
- La mezcla en caliente demandaría más tiempo en la fabricación y dependiendo de la distancia de planta para su construcción (altas temperaturas de la mezcla y un buen clima) y su puesta en servicio > 6 horas, por lo cual se necesitan rutas alternas, apertura de rutas paralelas a la carretera o simplemente interrumpir el tránsito, con un costo social y operativo para los usuarios y habitantes que se encuentran distribuidos en la longitud del tramo y de manera similar los habitantes de otras comunidades donde la carretera es un colector de caminos rurales, y la mezcla en frío no requiere todo este proceso, tan solo una limpieza con una barredora mecánica y luego un riego con agua para una mayor cohesión inicial del asfalto con la superficie de rodadura y luego de 1 hora se comienza con el compactado neumático máximo dos pasadas, y la apertura al tránsito estará disponible luego de un tiempo máximo de 2 horas después de su tendido sobre la carpeta antigua.

- La ventaja más favorable de la mezcla en caliente es su vida útil de 7 – 10 años en comparación con la mezcla en frío que es de 4 – 8 años, que dependen de la condición actual del pavimento para un Índice de Condición del pavimento de 56% se estima de 3 – 5 años.
- Otras ventajas generales que ofrece la micro superficie son: no modificará el perfil transversal de la carretera, por su bajo espesor de aplicación de la mezcla que es de 1 cm, se pueden utilizar agregados secos y húmedos aplicados en cualquier época con temperaturas mayores a 10°C.
- La micro carpeta en caliente consume gran cantidad de energía durante todo el proceso de ejecución en planta, pavimentación que genera contaminación al medio ambiente como contaminación acústica, química, atmosférica en todo el entorno de su fabricación y pavimentado, todo el proceso de la micro superficie contaminara mínimamente con relación a la mezcla en caliente.
- La comparación económica de ambas técnicas, lógicamente la técnica que dura más tiempo tiene un mayor costo, para la mezcla en caliente tiene un precio unitario de 29,65 Bs. /m<sup>2</sup>, mientras la mezcla en frío de 22,83 bs. /m<sup>2</sup>.
- La conclusión con respecto a la elección de cuál es la mejor técnica para el mantenimiento del tramo “Puente Carlaso – Puente Jarcas” la elección de la alternativa dependerá de varias interrogantes como: que técnica soluciona la mayoría de los problemas superficiales del pavimento, definiendo que técnica tiene mejores propiedades para un buen desempeño, el tiempo de ejecución de la actividad que genere el menor costo social, personal y equipo calificado y con experiencia en la ejecución de la alternativa, menor contaminación ambiental y por supuesto menor costo; todas estas interrogantes se responden con otra interrogante que direccionara la definición ¿ la solución que buscamos es a largo plazo o un tiempo menor? La respuesta está en función a la capacidad economía con la que se cuenta.



## 5.2. RECOMENDACIONES.

Para el diseño y la fabricación en laboratorio de micro superficie se recomienda lo siguiente:

- Se recomienda para la etapa de mezclado y la compactación de la mezcla en el molde Marshall, una temperatura ambiente del laboratorio 22 a 25°C para evaporar el porcentaje de humedad de pérdida antes de compactar la briqueta.
- Se recomienda reducir el peso total de la briqueta de 1200 gramos descrito en el Manual de carreteras para mezclas en frío, para el diseño de agregado fino con emulsión a 1000 gramos de peso total por briqueta para realizar la corrección de estabilidad por su altura, debido a que la briqueta con un peso total de 1200 gramos sobrepasan el límite de su altura para su corrección.
- Durante el proceso de curado de briquetas después del curado dentro del molde por 18 horas, luego de la extracción para el curado en el horno eléctrico, se recomienda reducir la temperatura a 38°C por 24 horas, debido que a 60°C dentro del horno la briqueta se deforma.
- La técnica de las micro superficies asfálticas diseñado por el Método Marshall Modificado, obteniendo resultados satisfactorios en la etapa técnica con características y propiedades que mejoraran el estado actual de la carretera y que incrementará su eficiencia al servicio, dentro de este espesor pequeño de 1 centímetro de la mezcla de micro superficies asfálticas, se encuentran las siguientes propiedades mejoradas con respecto a la micro carpeta en caliente como son: mayor estabilidad húmeda 1973 lb, vacíos totales máximo 5.4%, humedad de absorción de la micro superficie 2,05%, pérdida de estabilidad 11,58%, densidad específica bulk seca de 2,26 y el flujo de 14,6 (1/100"); todas estas propiedades determinaran el buen comportamiento con mayor durabilidad, más resistencia al tráfico y protegerá todo el pavimento del envejecimiento e impermeabilizara la carretera para mejorar su servicio

durante 3-5 años más, proveerá de una superficie antideslizante brindando mayor seguridad al tránsito, durante la ejecución será respetuosa con el medio ambiente, se lo realizara en el menor tiempo de ejecución, se cuenta con el material equipo y personal disponible en el país con experiencia, y el costo de la alternativa propuesta es de 22.83 Bs./m<sup>2</sup>, inferior en un 23% con respecto a un micro pavimento en caliente, la decisión está en función al monto económico que se destina al mantenimiento y la disponibilidad de las instituciones encargadas, pero en la actualidad la economía a nivel mundial se atraviesa una crisis que afecta a todos los países y por ello también a las instituciones encargadas de la administración de las carreteras con la reducción de sus presupuestos; esta condicionante nos direcciona a elegir la alternativa en función al precio que es la técnica propuesta de las micro superficies asfálticas.

- La alternativa elegida para el mantenimiento cuenta con excelentes resultados técnicos y económicos, que mejorara notablemente la condición actual de la carretera al Chaco Tramo “Puente Carlaso-Puente Jarcas” la hipótesis planteada en este trabajo de elegir la alternativa que proporcione una mejor condición al pavimento; con las micro superficies asfálticas la carretera tendrá mejores propiedades y características superficiales, ofrecerá un mejor servicio, será más segura e incrementara su vida útil en 5 años más, con servicio eficiente, el trabajo realizado se ha demostrado con datos y con resultados de ensayos y cálculos que la técnica de la micro superficie asfáltica es la mejor alternativa y que proveerá al pavimento, características y propiedades con las cuales contaba al inicio de su servicio, por lo cual se recomienda aplicar el estudio de diseño para el mantenimiento superficial de la carretera al Chaco Tramo ”Puente Carlaso –Puente Jarcas”.