

## **CAPITULO I**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Las redes viales del país fueron construidas como base para el desarrollo social y económico del país. Hoy en día estas redes muestran un gran signo de deterioro debido al descuido y abuso de estas sin un buen mantenimiento de las mismas, por lo que en unos años se encontrarán en un estado deplorable, que repercutirá en la economía del país. Las grandes inversiones efectuadas para el largo plazo llegan al fin de su vida útil después de pocos años de uso debido a que no existe un diseño adecuado y conservación a tiempo cuando es necesario.

Durante su vida útil las carreteras están sometidas a distintos tipos de esfuerzos, los firmes de estas carreteras están formados por varias capas de diferentes materiales, mezclas bituminosas y capas tratadas con el fin de resistir las cargas que llegan a esta, creando una superficie segura y cómoda. Se realiza en varias fases, asegurando las mejores características respecto a la resistencia al deslizamiento, la regularidad superficial, el ruido de rodadura, la reflexión luminosa y el desagüe superficial.

A lo largo de la historia se han mejorado las condiciones y el modo de construir de carreteras mediante la observación de los diferentes fallos y sus posibles causas, ajustando la manera de llevar a cabo la construcción de este tipo de pavimentos, así como seleccionando mejor los materiales a utilizar.

Problemas como “fisuras o grietas parabólicas” así como un “arrollamiento transversal”, son patologías que pueden ser atribuidas a una deficiencia en la adherencia de las capas de Mezcla Asfáltica y Capa Base. La calidad de los materiales, así como una correcta fase constructiva deberán asegurar el mejor comportamiento del paquete estructural terminado. La importancia de la adherencia de las mezclas asfáltica y emulsiones asfálticas utilizadas como “riego de liga” en capas base es

predominantemente ignorado, es así que una mala adherencia puede influir en una falla prematura de una paquete estructural.

En este documento se presentan los diferentes comportamientos, de una capa base con diferentes macro texturas y un ligante asfáltico con diferentes tasas de aplicación, unidos a una carpeta asfáltica, de mezcla convencional, mezcla modificada y en frío. Determinando con ello la mayor adherencia entre capas y la óptima tasa de aplicación de ligante para las diferentes uniones de carpetas que se combinan.

Con el presente trabajo de investigación se pretende evaluar la influencia que tendrá la macro textura mediante el riego de liga usando la metodología del ensayo de corte LCB propuesta por la Universidad de Cataluña, España, del Laboratorio de Caminos de Barcelona.

## **1.2 DISEÑO TEÓRICO**

### **1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

Muchos de los deterioros que surgen en las carreteras están causados por una malosificación, por falta de calidad de los materiales utilizados y por una inadecuada puesta en obra. Un aspecto importante que influye en gran medida en el comportamiento y durabilidad de un paquete estructural de vía es la adherencia entre capas.

La valoración de la adherencia entre capas ha sido un tema abordado en los últimos años, dentro del ámbito nacional. Ahora bien, innumerables veces se ha planteado el tema de la adherencia entre capa asfáltica y capa base cuando se ejecuta entre estas un

riego de liga. Sin embargo, poco se sabe de la influencia que tendrá la macro textura superficial de la capa inferior en la adherencia entre estas capas.

Es por ello que se ha decidido orientar la investigación y la elaboración de la presente tesis a analizar dicha cuestión.

### **1.2.1.2 PROBLEMA**

¿Cuál es la influencia, según el método LCB, que tendrá la macro textura superficial de la capa base en la adherencia con la capa de rodadura mediante un riego de liga entre ambas?

### **1.2.1.3 HIPÓTESIS**

Si la adherencia entre la capa base y de rodadura mediante un riego de liga se ve afectado por la macro textura superficial, entonces:

¿Realizando ensayos de corte por el método LCB se podrá evaluar la influencia que tendrá la macro textura en la adherencia de dichas capas?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

En nuestro país el riego de liga para adherir diferentes capas mediante riego de liga es un método que se realiza siguiendo las recomendaciones de tasas de riego recomendadas por La Administración Boliviana de Carreteras (ABC), estas especificaciones no hacen referencia a ningún ensayo que nos garantice una tasa de riego óptima según el tipo de macrotextura que tenga la capa a imprimir.

Según investigaciones realizadas sobre fallas de capas de rodadura en la estructura del pavimento, se ha determinado y concluido que una de las causas de esta falla es debido a una deficiente adherencia entre las capas, quedando en evidencia la inexistencia de

antecedentes sobre los factores que influyen en la obtención del monolitismo de la carpeta.

Una serie de pruebas de laboratorio han sido desarrolladas a nivel mundial, con el objetivo de proporcionar criterios sobre la adherencia que nos permitan seleccionar el tipo de base y el tipo de tasa de ligante según requerimientos de los proyectos.

Sin embargo en nuestro país no existe una normativa general que nos permita la selección de estos, por lo tanto es necesario ejecutar este trabajo de investigación que nos permitirá medir la resistencia de adherencia entre capa base y de rodadura, mediante un ensayo de corte directo realizado a probetas cilíndricas unidas con riego de liga, confeccionadas en dos capas simulando el proceso constructivo de un paquete estructural vial.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la influencia que tendrá la macro textura superficial en los riegos de liga entre capa base y capa de rodadura mediante el método LCB.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Determinar la adherencia según la macro textura superficial de la capa inferior, mediante una tasa de riego y mezcla asfáltica para la capa de rodadura empleando el ensayo de corte LCB.

- ✓ Conocer las bondades o dificultades de la capa base con diferentes macro texturas y una determinada tasa de riego de ligante en lo concerniente a la adherencia con una capa de rodadura.
- ✓ Identificar la tasa optima de aplicación de emulsión asfáltica según la macro textura de la capa inferior en cuanto a la adherencia del paquete estructural se refiere.
- ✓ Aportar el conocimiento del método LCB para la medición de adherencia, a los fines que se incorpora en las metodologías de construcción de carreteras.
- ✓ Analizar la tasa de riego óptimo y la mezcla asfáltica más adecuada para una mejor adherencia entre capas.
- ✓ Determinar la penetración del riego de liga mediante diferentes tasas y en diferentes macro texturas.
- ✓ Diseñar probetas cilíndricas con diferentes tipos de macro texturas de capa base, regadas a diferentes tasas de emulsión asfáltica y unida a una capa de rodadura.
- ✓ Realizar la caracterización de los agregados de las capas base con diferentes macro texturas, la emulsión asfáltica del riego de liga, los agregados y los cementos asfálticos a utilizar en la mezcla asfáltica convencional, mezcla asfáltica modificada y mezcla en frío.
- ✓ Establecer conclusiones y recomendaciones en base a los resultados que se obtengan de la investigación sobre la influencia que tendrá la macro textura en la adherencia entre capas usando riego de liga.

## 1.5 DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTE Y DEPENDIENTE

### 1.5.1 INDEPENDIENTE

La macro textura de la capa inferior, analizando la adherencia entre capa base y capa de rodadura usando un riego de liga.

### 1.5.2 DEPENDIENTE

Propiedad de adherencia entre capa base y capa de rodadura según las diferentes tasas de riego de liga con emulsión asfáltica.

### 1.5.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### INDEPENDIENTE

*Tabla 1.1 Operacionalización de variable independiente*

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción Técnicas a usar
La macro textura de capa base abierta, analizando la adherencia entre capa base y capa de rodadura usando un riego de liga.	Se realizarán ensayos de corte LCB en diferentes macro texturas superficiales de la capa inferior	Capa base con macro textura abierta	Capa base abierta	Tipo de macro textura Dosificación constante
			Agregados	Tipo de agregados Dosificación constante
		Adherencia	En diferentes macro texturas	Ensayo LCB
			Mezclas asfálticas	Ensayo LCB

*Nota. Fuente: Propia*

Tabla 1.2 Operacionalización de variable independiente

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción Técnicas a usar
La macro textura de capa base cerrada, analizando la adherencia entre capa base y capa de rodadura usando un riego de liga.	Se realizarán ensayos de corte LCB en diferentes macro texturas superficiales de la capa inferior	Capa base con macro textura cerrada	Capa base cerrada	Tipo de macro textura
				Dosificación constante
		Adherencia	Agregados	Tipo de agregados
				Dosificación constante
			En diferentes macro texturas	Ensayo LCB
			Mezclas asfálticas	Ensayo LCB

Nota. Fuente Propia

Tabla 1.3 Operacionalización de variable independiente

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor Acción Técnicas a usar
La macro textura de capa base densa, analizando la adherencia entre capa base y capa de rodadura usando un riego de liga.	Se realizarán ensayos de corte LCB en diferentes macro texturas superficiales de la capa inferior	Capa base con macro textura densa	Capa base densa	Tipo de macro textura
				Dosificación constante
		Adherencia	Agregados	Tipo de agregados
				Dosificación constante
			En diferentes macro texturas	Ensayo LCB
			Mezclas asfálticas	Ensayo LCB

Nota. Fuente: Propia

## DEPENDIENTE

Tabla 1.4 Operacionalización de variable dependiente

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización				
		Dimensión	Indicador	Valor Acción Técnicas a usar		
Propiedad de adherencia entre capa base y capa de rodadura según las diferentes tasas de riego de liga con emulsión asfáltica.	Se analizará la adherencia mediante el ensayo de corte LCB en para diferentes tasas de riego	Ensayo de caracterización	EMULCION ASFALTICA	Punto de Ablandamiento	Metodo para determinar el punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola. ASTM D5	
				Peso Especifico	Metodo para determinar la gravedad del peso especifico. ASSHTO T228	
				Viscosidad	Metodo para determinar la viscosidad. (ASTM D113 AASHTO T51-00)	
			AGREGADOS	Granulometria	Metodo para tamizar y determinar la granulometria ASTM E40	
				Equivalente de arena	Metodo para determinar el equivalente de arena	
				Resistencia al desgaste por abrasion	Metodo para determinar el desgaste mediante la maquina de los angeles (ASTM E131, AASHTO T96-99)	
				Peso especifico y Absorcion del Agregado	Determinacion del peso especifico de los suelos AASHTO T100	
			CEMENTO ASFALTICO	Penetracion	Metodo para determinar el indice de penetracion ASTM D5	
				Punto de Ablandamiento	Metodo para determinar el punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola. ASTM D5	
		Peso Especifico		Metodo para determinar la gravedad del peso especifico. ASSHTO T228		
		Punto de Inflamacion y combustion		metodo para determinar el Punto de Inflamacion y combustion mediante la copa abierta de clevealand		
		Ensayo de Adherencia	Probetas regadas con emulsion asfaltica a una tasa de 0,5(L/m2)	Resistencia al corte de fuerzas tangenciales	Ductibilidad	Metodo para determinar la ductibilidad (ASTM D113, AASHTO T201-01)
					Viscosidad	Metodo para determinar la viscosidad. (ASTM D113 AASHTO T51-00)
						Metodo para determinar la adherencia mediante u ensayo de corte con el aparato LCB

Nota. Fuente: Propia

Tabla 1.5 Operacionalización de variable dependiente

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización				
		Dimensión	Indicador	Valor Acción Técnicas a usar		
Propiedad de adherencia entre capa base y capa de rodadura según las diferentes tasas de riego de liga con emulsión asfáltica.	Se analizará la adherencia mediante el ensayo de corte LCB en para diferentes tasas de riego	Ensayo de caracterización	EMULCION ASFALTICA	Punto de Ablandamiento	Metodo para determinar el punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola. ASTM D5	
				Peso Especifico	Metodo para determinar la gravedad del peso especifico. ASSHTO T228	
				Viscosidad	Metodo para determinar la viscosidad. (ASTM D113 AASHTO T51-00)	
			AGREGADOS	Granulometria	Metodo para tamizar y determinar la granulometria ASTM E40	
				Equivalente de arena	Metodo para determinar el equivalente de arena	
				Resistencia al desgaste por abrasion	Metodo para determinar el desgaste mediante la maquina de los angeles (ASTM E131, AASHTO T96-99)	
				Peso especifico y Absorcion del Agregado	Determinacion del peso especifico de los suelos AASHTO T100	
			CEMENTO ASFALTICO	Penetracion	Metodo para determinar el indice de penetracion ASTM D5	
				Punto de Ablandamiento	Metodo para determinar el punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola. ASTM D5	
		Peso Especifico		Metodo para determinar la gravedad del peso especifico. ASSHTO T228		
		Punto de Inflamacion y combustion		metodo para determinar el Punto de Inflamacion y combustion mediante la copa abierta de clevealand		
		Ensayo de Adherencia	Probetas regadas con emulsion asfaltica a una tasa de 1(L/m2)	Resistencia al corte de fuerzas tangenciales	Ductibilidad	Metodo para determinar la ductibilidad (ASTM D113, AASHTO T201-01)
					Viscosidad	Metodo para determinar la viscosidad. (ASTM D113 AASHTO T51-00)
						Metodo para determinar la adherencia mediante u ensayo de corte con el aparato LCB

Nota. Fuente: Propia



Tabla 1.6 Operacionalización de variable dependiente

Variable Nominal	Conceptualización	Operacionalización				
		Dimensión	Indicador	Valor Acción Técnicas a usar		
Propiedad de adherencia entre capa base y capa de rodadura según las diferentes tasas de riego de liga con emulsión asfáltica.	Se analizara la adherencia mediante el ensayo de corte LCB en para diferentes tasas de riego	Ensayo de caracterización	EMULSION ASFALTICA	Punto de Ablandamiento	Metodo para determinar el punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola. ASTM D5	
				Peso Especifico	Metodo para determinar la gravedad del peso especifico. ASSHTO T228	
				Viscosidad	Metodo para determinar la viscosidad. (ASTM D113 AASHTO T51-00)	
			AGREGADOS	Granulometria	Metodo para tamizar y determinar la granulometria ASTM E40	
				Equivalente de arena	Metodo para determinar el equivalente de arena	
				Resistencia al desgaste por abrasion	Metodo para determinar el desgaste mediante la maquina de los angulos (ASTM E131, AASHTO T96-99)	
		CEMENTO ASFALTICO	Peso especifico y Absorcion del Agregado	Determinacion del peso especifico de los suelos AASHTO T100		
			Penetracion	Metodo para determinar el indice de penetracion ASTM D5		
			Punto de Ablandamiento	Metodo para determinar el punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola. ASTM D5		
			Peso Especifico	Metodo para determinar la gravedad del peso especifico. ASSHTO T228		
			Punto de Inflamacion y combustion	metodo para determinar el Punto de Inflamacion y combustion mediante la copa abierta de cleveland		
		Ensayo de Adherencia	Probetas regadas con emulsion asfáltica a una tasa de 2(L/m <sup>2</sup> )	Resistencia al corte de fuerzas tangenciales	Ductibilidad	Metodo para determinar la ductibilidad (ASTM D113, AASHTO T201-01)
					Viscosidad	Metodo para determinar la viscosidad. (ASTM D113 AASHTO T51-00)
						Metodo para determinar la adherencia mediante u ensayo de corte con el aparato LCB

Nota. Fuente: Propia

## 1.6 ALCANCE

El presente trabajo tendrá como finalidad u objetivo la realización de un documento que brinde un estudio investigativo capaz de proporcionar los lineamientos principales acerca de la influencia de la macro textura superficial en los riego de liga en la adherencia entre capas base y capa de rodadura, para poder demostrar que es una técnica aplicable en cualquier trabajo de pavimentación.

Este estudio esencialmente pretenderá evaluar la influencia de la macro textura sobre el riego de liga, particularmente la adherencia entre capas. También se explica las condiciones del riego de liga y las características de la macro textura, así también las especificaciones y pruebas para las mismas.

Se interpretara los resultados obtenidos de los ensayos realizados una vez terminado el estudio, para sacar conclusiones y recomendaciones del caso, que podrán favorecer al análisis de la mejor tasa de riego de liga en función a la macro textura de la capa base en la que se imprimara en futuros proyectos como una técnica alternativa.

## **1.7 DISEÑO METODOLÓGICO**

### **1.7.1 COMPONENTES**

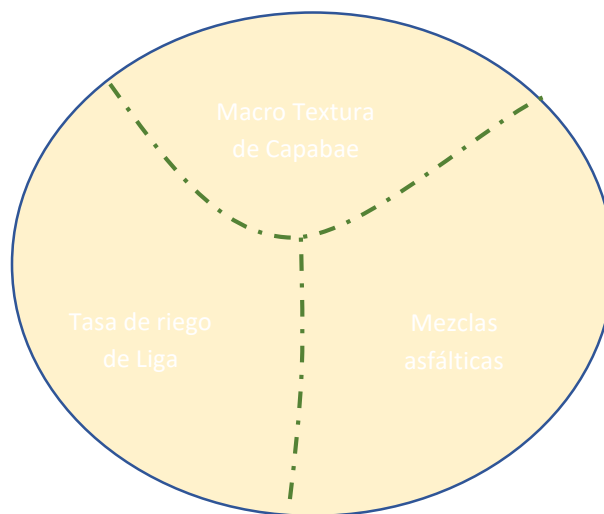
#### **1.7.1.1 UNIDADES DE ESTUDIO**

La unidad de estudio es: MACRO TEXTURA de capa base.

#### **1.7.1.2 POBLACIÓN**

Tasas de riego de liga con emulsión asfáltica y Mezclas asfálticas.

*Figura 1.1 Unidad de Estudio y Población*



*Nota. Fuente: Propia*

#### **1.7.1.3 MUESTRA**

Se utilizará una muestra representativa de tres dosificaciones de capa base para obtener tres diferentes macro texturas para realizar el riego de la siguiente manera:

- ✚ Capa Base con macro textura ABIERTA
- ✚ Capa Base con macro textura CERRADA
- ✚ Capa Base con macro textura DENSA

#### **1.7.1.4 MUESTREO**

- ✚ A diferentes tasas de Riego de Liga
- ✚ A diferentes tipos de mezclas asfálticas
- ✚ A diferentes fuerzas de corte de adherencia.

### **1.8 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS**

Durante la presente investigación se adoptaran los siguientes pasos metodológicos, para alcanzar los objetivos planteados. En un inicio se hará un diseño de las diferentes macro texturas de la capa base y un plan de implementación de los riego de liga a diferentes tasas, tomando en cuenta las características de las mezclas asfálticas de la capa de rodadura.

Luego de este proceso, se realizara el ensayo de corte LCB en las probetas armadas con capa base, riego de liga y mezcla asfáltica, donde se pueda monitorear la adherencia de estas probetas.

En consecuencia con el proceso desarrollado, se evaluaran los resultados de adherencia de cada uno de los tipos de probetas para analizar la influencia que tendrá en esta la macro textura de la capa inferior.

## **CAPITULO II:**

### **ASPECTOS GENERALES SOBRE MATERIALES EN PAVIMENTOS ASFALTICOS Y LA ADHERENCIA ENTRE SUS CAPAS**

#### **2.1 PAVIMENTO ASFALTICO**

##### **2.1.1 DEFINICION**

Un pavimento se le llama al conjunto de capas de un material seleccionado que recibe en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando así una superficie de rodamiento la cual debe funcionar eficientemente. Entre las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento de estos se encuentra: la anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada para no fallar ni agrietarse ante las cargas, así mismo estas deberán proporcionar suficiente fuerza de adherencia al vehículo aún en las peores condiciones posibles. La resistencia que estos deberán presentar debe ser adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua.

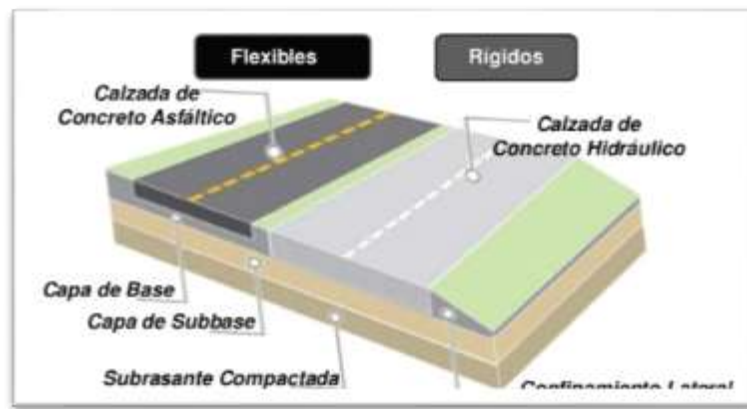
En carreteras básicamente existen dos pavimentos principales que son los más utilizados en el medio, estos son los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos.

- **Pavimentos flexibles.**- son aquellos que tienen superficies compuestas por materiales bituminosos (o asfalto). Estos tipos de pavimento son llamados flexibles por la simple razón que la estructura de pavimento se “pandea” o “deflecta” debido a las cargas impuestas por el tráfico recurrente.

- **Pavimentos rígidos.-** Son aquellos los cuales se encuentran compuestos por losas de concreto hidráulico de cemento Portland que en algunas ocasiones presenta armados de acero; estos tipos de pavimento son denominados rígidos porque son más “tiesos” que los pavimentos flexibles debido a las propiedades del concreto.

Debido a que el presente trabajo de investigación tiene por objetivo principal exponer la influencia que tendrá la macro textura de la capa base en la adherencia con la capa asfáltica, se limitará solamente a la sección de pavimentos flexibles.

*Figura 2.1 Tipos De Pavimentos*



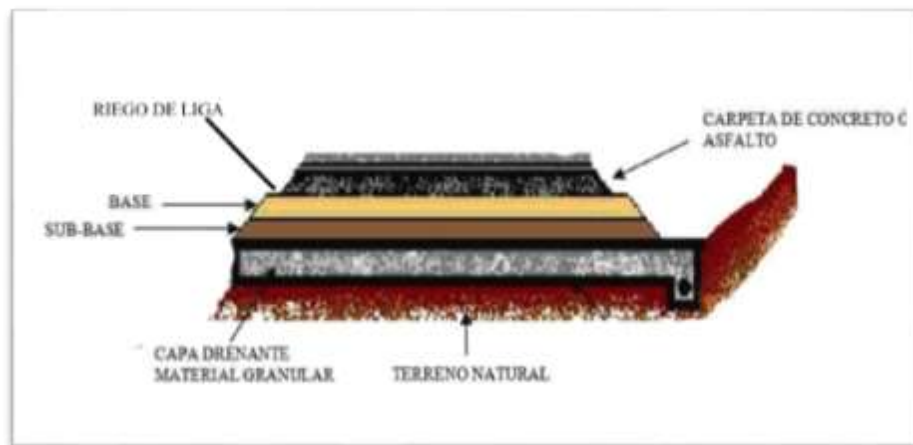
*Nota. Fuente: Estudio de Método de Diseño por el Ing. Eliezer Chirinos*

### **2.1.2 ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO ASFALTICO FLEXIBLE**

Se puede considerar que la estructura de un pavimento asfáltico flexible está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base, la fundación está formada por las capas de sub-base y suelo compactado.

Esta está conformada por una capa de rodadura, un riego de imprimación, una capa base, una capa sub-base, suelo compactado y subrasante.

*Figura 2.2 Sección Típica De Un Pavimento Flexible*



*Nota. Fuente: Estudio de Método de Diseño por el Ing. Eliezer Chirinos*

La capa de rodadura o revestimiento asfáltico tiene como función la de impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte, también en proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda y reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.

La capa base tiene como función la de reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas sub-base y suelo natural, reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico y permitir el

drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

La capa sub-base está constituida por un material de capacidad de soporte superior a la del suelo compactado y se utiliza para permitir la reducción del espesor de la capa base.

## **2.2 CAPA BASE**

### **2.2.1 DEFINICION**

Es una capa de materiales pétreos seleccionados que se construye generalmente sobre la sub-base, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que esta transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, proporcionar a la estructura de pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua. La carpeta asfáltica 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 además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas.

En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales y longitudinales.

En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un valor relativo de soporte y una plasticidad mínima,

además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico.

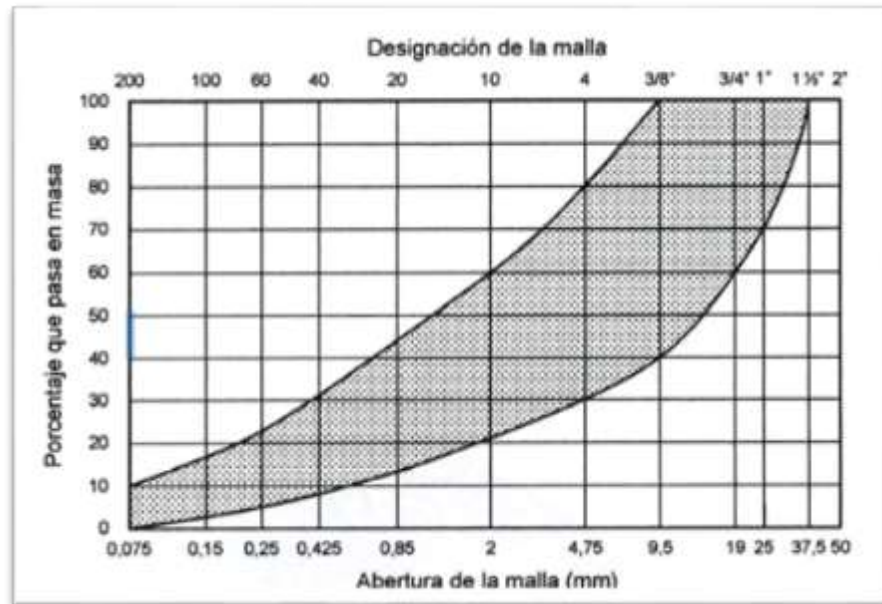
### **2.2.2 MATERIALES PARA CAPA BASE**

Los materiales que se utilicen para la construcción de bases cumplirán con lo establecido en las normas, salvo que el proyecto indique otra cosa, los materiales pétreos proceden de los bancos cercanos al proyecto.

Si la mezcla del material se hace en el lugar de su utilización, se mezclarán en seco y posteriormente se realiza la incorporación de agua, seguidamente después del preparado el material se extenderá en todo el ancho de la corona y se conformará de tal manera que se obtenga una capa de material sin compactar de espesor uniforme.

*Figura 2.3 Zona Granulométrica Recomendable de los Materiales para Bases de Pavimentos*





*Nota. Fuente: Norma ABC*

La puesta en obra de la capa base se lo realiza abriendo parcialmente echado y agregando agua con la humedad cercana a la óptima que se obtuvo de la prueba de compactación, siendo la humedad de campo óptima en carreteras generalmente menor a la que se obtienen en el laboratorio, ya que esto provoca una mayor resistencia en los materiales.

El agua no se riega de una sola vez sino que se distribuye en varias pasadas, se hace un primer riego y después la motoconformadora abre una nueva porción de material colocándolo sobre el ya humedecido para que vuelva a pasar la pipa y así sucesivamente, para después homogenizar este material con la máquina motoniveladora.

Cuando la humedad es uniforme, el material se distribuye en toda la corona para formar la capa con el espesor suelto necesario, se deberá cuidar que no haya separación del material fino del grueso, ya extendido el material se compacta hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto.

La compactación se efectúa con rodillos lisos y de neumáticos que tengan un peso de 15 a 25 toneladas siendo más eficaces si cuentan con unidad vibratoria, la compactación se efectuara longitudinalmente de las orillas hacia el centro en tangentes y de adentro hacia afuera en curvas, con un traslapé de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

Cuando en las bases se alcanza el grado de compactación del proyecto, estas se dejan secar superficialmente, se barre para retirarle basuras y partículas sueltas y después de esto aplicarle un riego con material asfáltico a esto se le conoce como riego de impregnación, que sirve para impermeabilizar y estabilizar las bases y además favorece la permeabilidad.

### **2.2.3 MACROTEXTURA SUPERFICIAL DE CAPA BASE**

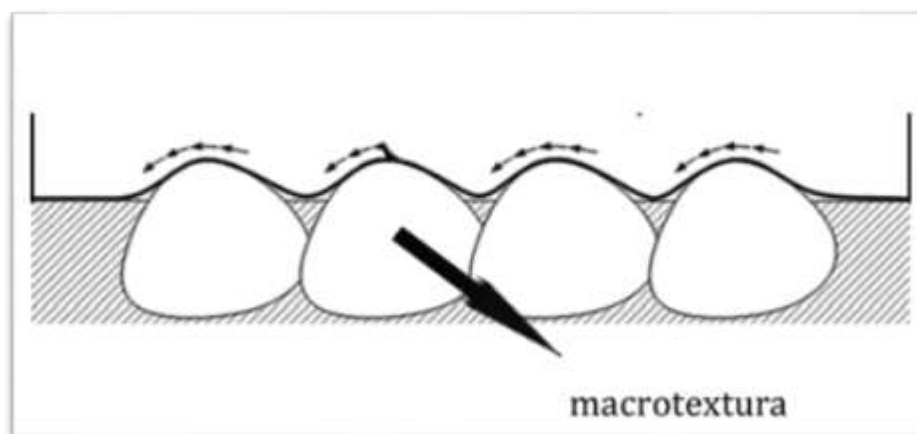
La macro texturasuperficial es la porosidad de la superficie de la capa base o la cantidad de vacíos de esta, depende directamente de la granulometría y, especialmente, del tamaño máximo, del árido que esté presente en la dosificación de la capa.

Esta influye directamente en la capacidad del pavimento de evacuar el agua del pavimento, e influye directamente en la resistencia de adherencia con la carpeta asfáltica.

Las macro texturas están directamente vinculadas con la granulometría debido a que si estas poseen mayor cantidad de agregado grueso en su dosificación presentar mayor cantidad de vacíos en su superficie, igualmente si la granulometría presentara mayor cantidad de fino generaría una macro textura más cerrada o densa, dependiendo de la cantidad de fino en la dosificación.

Al ser las macro texturas más abiertas éstas permiten que al momento de realizar algún riego de liga para mejorar la carpeta base la emulsión regada penetre más y tenga una mejor adherencia con la carpeta de rodadura, así mismo si la capa base posee una macro textura superficial cerrada la cantidad de vacíos es menor y la penetración de la emulsión será menor pero la adherencia dependerá del tipo de riego y la tasa de aplicación de la misma.

*Figura 2.4 Macro textura Superficial De Una Capa Base*



*Nota. Fuente: Propia*

### **2.3 RIEGO DE LIGA**

### 2.3.1 DEFINICION

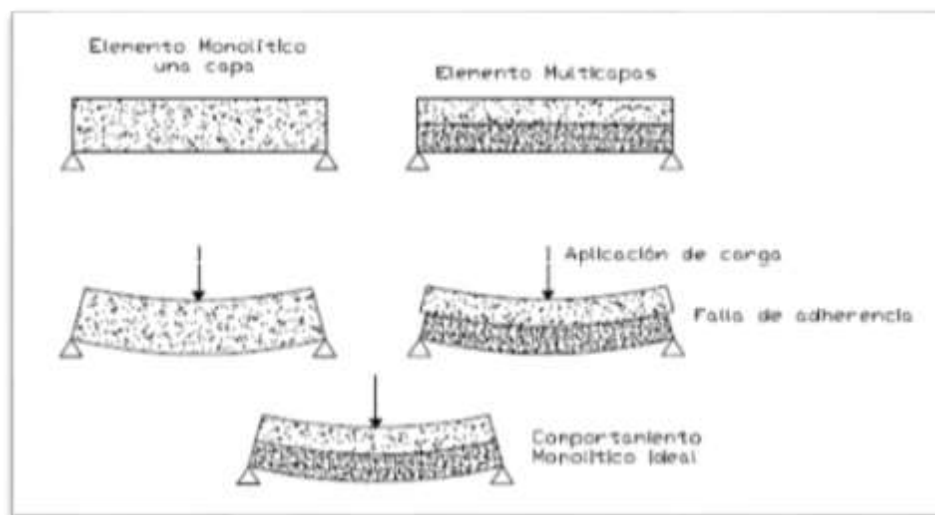
En la construcción de una carretera en donde su constitución está formada por una capa base y una de rodadura se suponen que van a estar totalmente unidas, trabajando de forma solidaria. Para ello, durante su construcción, se procede a la aplicación de un riego de adherencia o “riego de liga”, la cual es una aplicación ligera de emulsión asfáltica o asfalto rebajado sobre un capa base existente, para asegurar la adherencia entre la superficie de la capas asfálticas que se superpone y mejorar las características de la capa base.

Dos características esenciales del riego de liga son:

- Debe ser muy delgado
- Debe cubrir uniformemente el área a ser pavimentada de forma que el comportamiento de todas ellas sea lo más parecido a un elemento monolítico, *figura 2.5*.

Sin embargo, la experiencia ha puesto de manifiesto que esta unión no siempre se consigue, ocasionando deterioros prematuros en el pavimento y una reducción de su vida de servicio.

*Figura 2.5 Comparación De Viga Monolítica Y Viga Multicapa*



*Nota. Fuente: Estudio Experimental De La Resistencia De La Adherencia Entre Capas En La Construcción De Carpetas Asfálticas En Caliente*

La adherencia final conseguida entre capas depende no sólo de cómo se haya realizado el riego, de que la dosis sea la apropiada, de que se haya adherido bien a la capa inferior, o de que el tráfico de obra no lo haya levantado, sino también de cómo se ha ejecutado la nueva capa. Sin embargo, durante la fase de construcción, esta propiedad apenas se controla.

El control se reduce a una mera inspección visual del riego efectuado y al control de la dotación del mismo, pero no se verifica la calidad final conseguida en la adherencia de las capas, que es lo que en realidad se debería medir.

### **2.3.2 CONDICIÓN QUE DEBE TENER LA SUPERFICIE DE CAPA BASE PARA RECIBIR EL RIEGO DE LIGA**

La superficie de la capa base de recepción de la capa ligante, debe estar limpia y seca para promover la máxima unión.

La Aplicación de riego de liga debe resultar en una capa fina y uniforme de material ligante ya se emulsión asfáltica o asfalto rebajado, que cubre aproximadamente el 90% de la superficie de la capa. Para lograr este resultado, la tasa de aplicación variará según el tipo de superficie que tenga la capa.

Demasiado o poco riego de liga puede dar lugar a la unión inadecuada entre capas. El exceso de riego de liga puede crear un plano de deslizamiento lubricado entre capas, o puede hacer que el material de riego de liga que se introduce en una superposición, lo que afecta negativamente a las propiedades de la mezcla e incluso la creación de un potencial sangrado en las capas delgadas.

*Figura 2.6 Riego De Liga Uniforme*



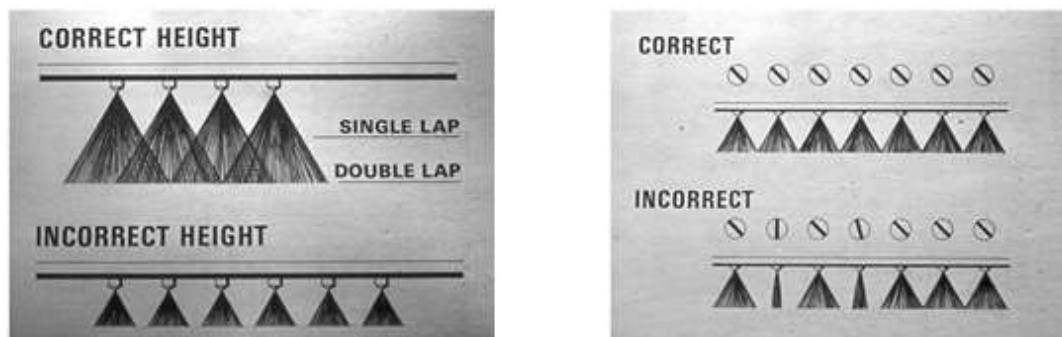
*Nota. Fuente: Fuente Departamento De Transporte De Texas, Estados Unidos*

### **2.3.3 CONSIDERACIONES EN LA APLICACIÓN DEL RIEGO DE LIGA**

La rugosidad de la superficie del pavimento al recibir el riego de liga, Las superficies rugosas requieren más riego de liga que las superficies lisas.

El vehículo distribuidor requiere varios ajustes fundamentales para lograr la colocación de riego de adherencia uniforme. Esencialmente, los patrones de rociado, altura de la barra de spray y de la presión de distribución deben trabajar juntos para producir la aplicación uniforme de riego de liga. En general, las mejores aplicaciones de los resultados de un "doble vuelta" o la cobertura de "triple vuelta". "Doble / triple de vuelta" significa que los patrones de rociado de la boquilla se solapan entre sí de tal manera que cada porción de la zona recibe aerosol de exactamente dos / tres boquillas.

*Figura 2.7 Riego De Liga Uniforme*



*Nota. Fuente: Departamento De Transporte De Texas, Estados Unidos*

Patrones de aerosol de la boquilla deben ser idénticos el uno al otro a lo largo de una barra de spray del distribuidor. Las diferentes coberturas se traducirán en vetas y brechas en el riego de liga.

La altura de la barra de spray debe permanecer constante cuando se aplica una capa ligante. La barra de spray excesivamente baja da lugar a rayas, mientras que las barras de spray excesivamente altas causan solapamiento que se produce en una tasa de aplicación excesiva.

La presión dentro del distribuidor debe ser capaz de forzar el material de riego de liga a cabo las boquillas de spray a una velocidad constante. Presión inconsistente dará lugar a tasas de aplicación no uniforme.

## **2.4 MEZCLAS ASFALTICAS**

### **2.4.1 HISTORIA**

Las emulsiones se desarrollaron por primera vez en el año 1900. Su uso inicial fue en aplicaciones de pulverización y como paliativos de polvo. El crecimiento en el uso de emulsiones de asfalto fue relativamente lento, limitados por el tipo de emulsiones disponibles y la falta de conocimiento en cuanto a la forma en que deben ser utilizadas. Continuando con el desarrollo de nuevos tipos y grados, junto con la mejora de equipos y prácticas de construcción, ahora ofrece una amplia gama de opciones. Prácticamente cualquier requerimiento en carretera se puede cumplir con las emulsiones. Una Selección juiciosa en su uso puede producir beneficios económicos y ambientales.

Los asfaltos provenientes de la refinación del crudo de petróleo, son producidos en una variedad de tipos y grados que van desde sólidos duros y frágiles a líquidos poco viscosos. EL asfalto empleado en pavimentación para poder utilizarlo es necesario fluidificarlo, bien sea calentándolo, diluyéndolo o emulsionándolo. El tercer método gasta menos energía que el calentamiento directo y no produce contaminación ambiental, ya que se evapora agua en lugar del solvente que se utiliza en la dilución.

Una emulsión asfáltica consiste en una fina dispersión de partículas de asfalto en agua, las pequeñas gotas de asfalto se mantiene uniformemente dispersadas en la fase acuosa gracias a la ayuda de un agente emulsificante que al rodear la gota proporciona la repulsión necesaria para conservan la estabilidad del sistema hasta su uso.



### 2.4.2 COMPONENTES DE UNA EMULSION ASFALTICA

Una emulsión asfáltica consiste de tres ingredientes básicos: Asfalto, agua y un emulsificante. En algunas ocasiones, la emulsión puede contener otras aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia, o un agente de control de rotura. Los aspectos más importantes, así como las características y/o especificaciones que debe cumplir.

*Figura 2.8 Tabla De Usos De Las Emulsiones Asfálticas*

Los Usos Principales de las Emulsiones Asfálticas		
Tratamientos de Superficie	Reciclado de Asfalto	Otras Aplicaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riego pulverizado</li> <li>• Sellado con arena</li> <li>• Lechadas</li> <li>• Micro aglomerado</li> <li>• "Cape seal"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frio in-situ</li> <li>• Full depth</li> <li>• Caliente in-situ</li> <li>• En planta central</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilización (suelo y base)</li> <li>• Riegos de liga</li> <li>• Bacheo de mantenimiento</li> <li>• Paliativos de polvo</li> <li>• Riegos de imprimación</li> <li>• Sellado de fisuras</li> <li>• Recubrimientos de protección</li> </ul>

*Nota. Fuente: Manual Básico De Emulsiones Asfálticas*

### 2.4.3 CLASIFICACION DE LAS EMULSIONES ASFALTICAS

Las emulsiones asfálticas se clasifican en tres categorías: Aniónicas, Catiónicas, y no Iónicas. En la práctica, los dos primeros tipos son los más utilizados en la construcción y mantenimiento de carreteras.

Las clases Aniónicas y Catiónicas se refieren a las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto. Este sistema de identificación se debe a una ley básica de la electricidad: como cargas iguales se repelen entre sí y cargas contrarias se atraen entre sí.

Cuando dos polos (ánodo y cátodo) se sumergen en un líquido y una corriente eléctrica

pasa a través de ellos, se convierte en el ánodo cargado positivamente y un cátodo cargada negativamente. Si se pasa una corriente a través de una emulsión que contiene partículas de asfalto cargadas negativamente, que migrarán al ánodo. Por lo tanto, la emulsión se conoce como Aniónica. Por el contrario, las partículas de asfalto cargados positivamente se mueven hacia el cátodo y la emulsión se conoce como Catiónica. Con emulsiones no Iónicas, las partículas de asfalto son neutrales y no migran a los polos.

Las emulsiones se clasifican sobre la base de la rapidez con que las gotitas de asfalto tardan en fusionarse, (es decir, volver a cemento asfáltico). Los términos RS, MS, SS y QS han sido aprobados para simplificar y estandarizar la clasificación, son términos relativos y sólo significa curado rápido, curado mediano, curado lento y de endurecimiento rápido respectivamente.

La tendencia a fusionarse está estrechamente relacionada con la velocidad con que una emulsión se volverá inestable y romper después de contactar la superficie de un agregado. Una emulsión RS tiene poco o ninguna capacidad para mezclarse con un agregado, emulsiones SS y QS están diseñados para mezclarse con agregado fino, con el QS espera romper más rápidamente que el SS.

Las emulsiones se identifican además por una serie de números y letras relacionadas con la viscosidad de las emulsiones y la dureza de los cementos de asfalto base. La letra "C" frente al tipo de emulsión denota Catiónica. La ausencia de la "C" denota Aniónica.

American Society for Testing and Materials (ASTM) y American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) en sus especificaciones las clasifican. Por ejemplo, RS-1 es Aniónica y el SRC-I es Catiónica.

Los números en la clasificación indican la viscosidad relativa de la emulsión.

Por ejemplo, un MS-2 es más viscoso que un MS-1. La letra "h" que sigue ciertos grados simplemente significa que se utiliza base de asfalto grado duro. La "s" significa que asfalto base blanda.

El "HF" que precede a algunos de los grados Aniónicas indica alta flotador (High Float)<sup>8</sup>, tal como se mide por la prueba de flotador bajo la norma ASTM D-139.

Emulsiones High Float tienen una calidad de gel, impartida por la adición de ciertos productos químicos, que permite una película de asfalto más gruesa en las partículas de agregado y evita que escurra el asfalto del agregado. Estos grados se utilizan principalmente para el frío y la planta de mezcla en caliente, capas de sellado y mezclas para carreteras.

## **2.5 ASFALTO**

### **2.5.1 DEFINICIÓN**

La American Society for Testing and Materials (ASTM) define el asfalto como un material ligante de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular, como los asfaltos, alquitranes, breas y asfaltitas.

El asfalto es un constituyente del petróleo. La mayoría de los petróleos crudos contienen algo de asfalto, y a veces pueden ser casi enteramente asfalto.

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

De esta manera es como el asfalto, parafina, gasolina, aceites lubricantes y otros productos útiles de alta calidad son el resultado de una refinería de petróleo,

dependiendo de la naturaleza del crudo que está siendo procesado.

Todo el asfalto comercializado en el medio con la finalidad de ser usado en la pavimentación de carreteras es producido en refinerías de petróleo modernas y se denomina asfalto de petróleo.

El asfalto de petróleo está compuesto casi enteramente por betún, mientras que en el alquitrán el contenido de betún es relativamente bajo. En vista de estas diferencias es necesario que los productos del alquitrán y los asfaltos de petróleo sean considerados y tratados como elementos completamente separados.

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

El asfalto para pavimentación a temperatura atmosférica normal (ambiente) es un material negro, pegajoso, semi-sólido y altamente viscoso. Está compuesto primordialmente de moléculas complejas de hidrocarburos, pero también contiene otros átomos, como ser oxígeno, nitrógeno y sulfuro. Debido a que el asfalto de pavimentación es pegajoso, se adhiere a las partículas del agregado y puede ser usado para cementarlas o ligarlas dentro del concreto asfáltico. El asfalto para pavimentación es impermeable y no le afecta la mayoría de los ácidos, álcalis y sales.

Es llamado un material termoplástico porque se ablanda cuando es calentado y se endurece cuando se enfría. Esta combinación única de características y propiedades es una razón fundamental para que el asfalto sea un material de pavimentación importante.

Los pavimentos asfálticos son a veces, no con toda propiedad, llamados flexibles, quizás como consecuencia que el asfalto es un material viscoso y termoplástico.

El asfalto natural es durable y ha sido usado a lo largo de la historia, los sumerios estaban familiarizados con el asfalto y sus propiedades cementantes e impermeabilizantes antes del año 3800 antes de Cristo. Los babilonios (2500-538AC) usaron el asfalto para construir presas, embalses y caminos. El asfalto de petróleo moderno tiene las mismas características de durabilidad, pero tiene la importante ventaja adicional de ser refinado hasta una condición uniforme, libre de materias orgánicas y minerales extraños. El asfalto natural no es uniforme y contiene cantidades variables de materias extrañas.

### **2.5.2 OBTENCION DEL ASFALTO EN REFINERIAS**

El diagrama del proceso para la extracción del asfalto de petróleo muestra la circulación del petróleo crudo a través de una refinería destacándose la parte del proceso relativa a la refinación y producción del cemento asfáltico.

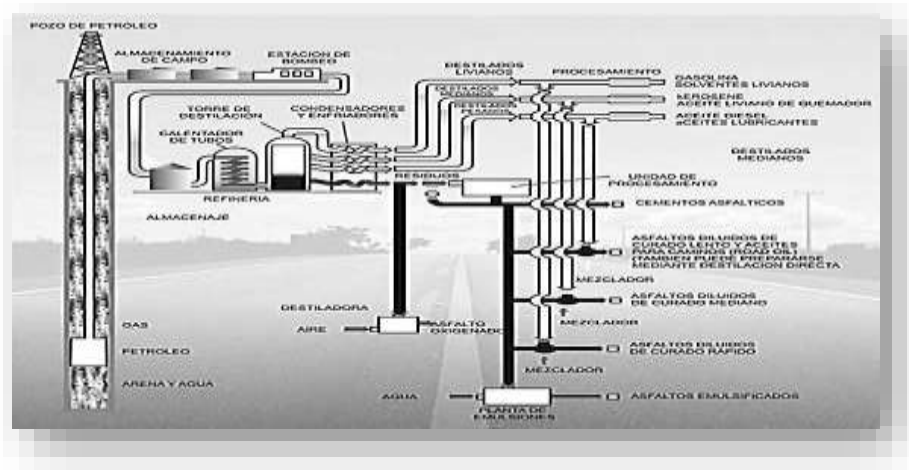
Durante el proceso de refinación, el petróleo crudo es conducido a un calentador tubular donde se eleva rápidamente su temperatura para la destilación inicial. Luego entra a una torre de destilación donde se vaporizan los componentes o fracciones más livianas (más volátiles) y se los separa para el posterior refinamiento en nafta, gasolina, querosene y otros productos derivados del petróleo.

El residuo de este proceso de destilación es la fracción pesada o petróleo crudo, comúnmente llamada crudo reducido. Puede ser usado como fuel oil residual, o procesado en distintos productos, entre ellos, el asfalto. Para la separación de la

fracción asfalto del crudo reducido se puede utilizar un proceso de extracción mediante solventes. Luego, se refina la mayor parte de esta fracción para obtener cemento asfáltico. Según el proceso de refinación utilizado, se obtienen cementos asfálticos de muy alta o baja consistencia. Estos productos se mezclan después, en cantidades adecuadas para obtener cementos asfálticos de la consistencia deseada.

Los asfaltos soplados se producen insuflando aire a altas temperaturas al asfalto de consistencia apropiada.

*Figura 2.9 Proceso De Refinación Del Petróleo*



*Nota. Fuente: Instituto De Asfaltos, Manual De Asfaltos*

### 2.5.3 PROPIEDADES FISICAS DEL ASFALTO

El asfalto es un líquido viscoso constituido esencialmente por hidrocarburos o sus derivados, a continuación enlistamos algunas de sus características:

Para los estudios técnicos y la construcción se consideran deseables las siguientes propiedades o características del asfalto:

- **Consistencia:** Se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. A altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definirla.

Si el cemento asfáltico se expone al aire en películas delgadas, y se somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo durante el mezclado con el agregado, el asfalto tiende a endurecerse, a aumentar de consistencia. El aumento de esta característica es limitado, por lo tanto, un control no adecuado de la temperatura y del mezclado puede provocar mayor daño al cemento asfáltico por endurecimiento que por muchos años de servicio en el camino terminado.

Comúnmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o ensayos de penetración.

- **Durabilidad:** Es la capacidad para mantener sus propiedades con el paso del tiempo y la acción de agentes envejecedores.

Es juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

- **Susceptibilidad Térmica:** Es el cambio que experimenta el asfalto en sus propiedades por efecto de la temperatura.

El asfalto es un material termoplástico, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica es conocida como susceptibilidad a la temperatura. La susceptibilidad térmica varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si estos tienen el mismo grado de consistencia.

Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que estas se desplacen unas con respecto de otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal para mantener unidas las partículas del agregado.

- **Pureza:** El cemento asfáltico se compone, casi enteramente, de betunes, los cuales, por definición son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, generalmente, más de 99.5 % solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto casi betunes puros. Las impurezas, si las hay, son inertes.

Normalmente, el cemento asfáltico, cuando deja la refinería, está libre de agua o humedad, pero puede haber humedad en los tanques de transporte. Si hay agua inadvertida, puede causar un asfalto espumoso cuando se calienta por encima de los 100°C.

- **Seguridad:** Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación. Si se somete el cemento asfáltico a temperaturas suficientemente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o una llama.

La temperatura a la que esto ocurre es más elevada que la temperatura que normalmente es usada en las operaciones de pavimentación. Sin embargo, para



fines de transporte y almacenamiento, se suele diluir el asfalto a temperaturas en las que adquiere la suficiente fluidez para bombearlo, este proceso puede generar vapores volátiles altamente riesgosos, por eso es necesario tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad. Por este motivo se hace indispensable conocer el punto de inflamación del asfalto.

## **2.5.4 TIPOS DE AGREGADOS UTILIZADOS EN MEZCLAS ASFALICAS**

### **2.5.4.1 AGREGADO GRUESO**

Los agregados gruesos son partículas grandes, mayores aproximadamente a 2,5mm, (0,1plg). Normalmente son obtenidos de gravas naturales de lechos de ríos, rocas trituradas o de gravas trituradas y zarandeadas

### **2.5.4.2 PIEDRA TRITURADA**

El material bruto para piedra triturada debe provenir de roca dura, como la arenisca, basalto, piedra caliza u otra piedra de calidad equivalente, o piedra de canto rodado con un tamaño de partícula de por lo menos tres veces más grande que el tamaño máximo requerido para el producto final.

El producto triturado puede ser tamizado para obtener el tamaño del agregado deseado. Algunas veces, por razones de economía, el material triturado es usado tal como se lo produce con un ligero tamizado o sin él. Este agregado se lo denomina agregado “triturado sin cribar”, en muchas oportunidades pueden utilizarse en la construcción de pavimentos asfálticos.

Las piedras trituradas deben tener uniformidad, limpieza, dureza y durabilidad suficiente y estar libres de una cantidad perjudicial de partículas planas o alargadas, sucias con barro o con materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

### 2.5.4.3 GRAVA TRITURADA

Grava triturada son piezas trituradas de canto rodado o grava para hacerlo más apropiado para su uso en mezclas asfálticas para pavimentación. La calidad puede ser mejorada por medio de la trituración, al cambiar la textura superficial de las partículas redondeadas en partículas angulosas con mejoras, además, en la distribución o rangos de tamaño de las partículas. Las proporciones de las partículas que tienen una o más caras fracturadas, tiene que ser mayor al 75% del peso total de partículas retenidas en un tamiz de 4,75 mm Sin otro procesamiento, este producto de grava triturada o chancada se llama “triturado sin cribar”.

### 2.5.4.4 AGREGADO FINO

Los agregados finos, presentan tamaños menores de aproximadamente 2,5mm (0.1plg). Son obtenidos de arena natural proveniente de las fracciones finas, obtenidas por zarandeo en las operaciones de trituración de rocas o de gravas trituradas. Los áridos finos son aquellos que pasan el tamiz número 4.

- **Arena:** La arena se clasifica en: arena natural, arena artificial, polvo de trituración y arena especial.

La arena natural se clasifica, por el lugar de excavación, en: arena de río, arena de cantera y arena de mar.

La arena artificial es producida por la trituración de roca o piedra de canto rodado. Las arenas son partículas rocosas que pasan el tamiz N°4 y quedan retenidas en el N° 200; y dentro de estas se encuentran las arenas finas, que son el material que pasa el tamiz N° 40 y quedan retenidas en el N°200, y el material que pasa el tamiz N°10 y retenidos en el tamiz N°40 se consideran arenas gruesas. Las partículas que pasan el

tamiz N° 8 o menos, que se obtienen durante la producción de piedra triturada, se mencionan como “polvo de trituración”.

- **Filler:** O relleno mineral es un producto mineral finamente dividido del que al menos el 65% pasa por el tamiz número 200. La piedra caliza pulverizada es el filler más frecuentemente empleado, aunque pueden utilizarse también otros polvos de piedras, cal apagada, cemento Portland y algunas sustancias minerales muy finas y otras de origen volcánico.

El filler aumenta en muchos casos la estabilidad y la calidad de una mezcla, ayudando en la aportación de agregado fino cuando se utilizan gradaciones cerradas o densas; en estos casos es frecuente el empleo principalmente polvo mineral (Porción de los áridos finos que pasa el tamiz número 200), y otros fillers.

El polvo mineral es usado principalmente como filler para la mezcla de asfalto en caliente. Es la parte de los áridos que pasa por el tamiz N°200. Puede consistir en partículas finas de los áridos finos o gruesos y/o filler mineral. El filler se produce triturando piedra caliza o roca volcánica y debe contener menos del 1% de agua y estar libre de aglomerados, no contendrá sustancias orgánicas ni partículas de arcilla.

Cuando se almacena el filler mineral, se debe evitar cualquier contacto con agua o humedad, porque se vuelve inservible cuando está mojado. La cal apagada, el cemento Portland y otros productos procesados industrialmente se pueden usar a veces como fillers minerales en mezclas asfálticas y para evitar el desarrollo de agrietamientos en el pavimento.

## **2.5.4.5 ENSAYOS DE CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS**

### **2.5.4.5.1 GRANULOMETRIA**

Este método de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas de agregado grueso y de agregado fino, empleando tamices de aberturas cuadradas, siendo también aplicable el empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares.

Hay dos métodos para determinar las proporciones relativas de los diversos tamaños de partículas en una muestra de áridos:

- **Análisis granulométrico por vía seca.**

Este método consiste en el tamizado por vía seca, el procedimiento es de agitar una cantidad pesada de áridos perfectamente secos sobre una serie de tamices con aberturas cuadradas. Los tamices están unidos de forma que el de mayor abertura está en la parte superior y los de abertura más pequeña están situados debajo. Bajo el último tamiz se coloca una bandeja que recoge todo el material que pasa a través de él. La agitación se aplica normalmente con aparatos automáticos, pero si no se disponen de estos se puede realizar manualmente sin pérdida de áridos.

Se determina el peso de material retenido en cada tamiz y se expresa en porcentaje del peso de la muestra original. Usualmente resulta conveniente anotar estos datos en un gráfico. En estos gráficos debe indicarse el porcentaje total, el peso que pasa por cada tamiz. Las curvas así obtenidas son instrumentos que dan rápidamente idea de las características granulométricas de los áridos.

- **Análisis granulométrico por vía húmeda.**

Este método de ensayo da un procedimiento para determinar por vía húmeda la distribución de tamaños de los áridos finos y gruesos. Este procedimiento es deseable frecuentemente cuando los áridos contienen polvo extremadamente fino o arcilla que pueden pegarse a las partículas más gruesas. En estos casos los resultados obtenidos del análisis granulométrico por vía seca son

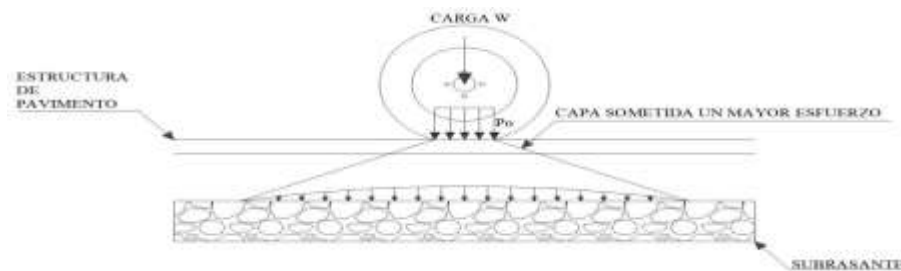
evidentemente erróneos.

#### 2.5.4.5.2 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASION

El agregado pétreo está sujeto a una rotura adicional y a un desgaste por abrasión durante la elaboración, colocación y compactación de la mezcla asfáltica para pavimentación. El agregado sufre, además, la abrasión debido a las cargas del tránsito.

Deben tener por lo tanto, en cierto grado, capacidad de resistir la trituración degradación y desintegración. El agregado de la superficie del pavimento o cerca de ella requiere una dureza mayor que el agregado de las capas inferiores donde las cargas resultan disipadas o no son tan concentradas como se puede observar en la

*Figura 2.10 Distribución De Esfuerzos*



*Nota. Fuente: Propia*

El ensayo de abrasión o desgaste “Los Ángeles” mide la resistencia al uso o abrasión del agregado mineral cuando el pavimento es sometido al tráfico vehicular. El porcentaje de desgaste medido por el ensayo de Los Ángeles no tiene en general ninguna relación con el pulimento de los áridos bajo el desgaste del tráfico.

El tambor de la máquina de desgaste, el cual es cargado con un peso determinado de partículas de agregado grueso con una graduación prefijada que se asemeja al material propuesto para el diseño en la mezcla asfáltica, así como un peso normalizado de esferas de acero que han de actuar como carga abrasiva. A continuación se hace

dar al tambor 500 vueltas, después de lo cual se extrae el material y se determina el porcentaje de material que pasa por el tamiz número 12, que se define como porcentaje de desgaste.

La elevada resistencia al desgaste indica por un bajo porcentaje de pérdida por la abrasión es una característica deseable de los áridos que han de emplearse en la construcción de pavimentos asfálticos.

#### **2.5.4.5.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO**

##### **Peso específico:**

- Usualmente se determina el peso específico de los áridos por dos razones:
- Para determinar el cálculo de los huecos de las mezclas asfálticas compactadas.
- Para corregir las cantidades de áridos empleado en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico varía apreciablemente.

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

El concepto de peso específico efectivo se aproxima más al valor verdadero para la determinación de los vacíos de la mezcla asfáltica compactada. El peso específico bruto puede ser usado, sin embargo, si se considera una tolerancia por asfalto absorbido por el agregado.

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

El peso específico de un agregado es el cociente entre el peso de un volumen unitario de material y el peso de igual volumen de agua a una temperatura entre 20° y 25°C (68 y 77°F).

#### **2.5.4.5.4 EQUIVALENTE DE ARENA**

Tiene como objetivo principal determinar la calidad que tiene un suelo que se va emplear en las capas de un pavimento, esta calidad es desde el punto de vista de finos indeseables de naturaleza práctica.

Este método cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, fracción gruesa, denominado su proporción volumétrica como equivalente de arena.

#### **2.5.4.5.5 CONTENIDO DE ASFALTO**

El contenido de asfalto de una mezcla está determinado por propiedades

predeterminadas y establecidas mediante criterios tanto técnicos como económicos.

El contenido de asfalto efectivo es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de agregado. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran parte, de las características de los agregados, tales como granulometría y capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto, entre más finos contenga la gradación de la mezcla, mayor será el área superficial total y mayor la cantidad de asfalto necesaria para cubrir uniformemente las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más gruesos) exigen menos asfalto puesto que poseen menos área superficial total.

#### **2.5.4.5.6 PROPIEDADES DE MEZCLAS ASFALTICAS**

Las principales propiedades que contribuyen a la calidad de una mezcla en caliente son:

- Estabilidad: es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Depende principalmente de la fricción interna y de la cohesión.
- Durabilidad: es la capacidad de un pavimento de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima.
- Flexibilidad: es la capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse.



- Resistencia a la fatiga: es la capacidad de un pavimento para resistir los esfuerzos provocados por el tránsito en repetidas pasadas.
- Resistencia al deslizamiento: es la cualidad de un pavimento especialmente mojado para ofrecer resistencia al patinaje de los vehículos.
- Impermeabilidad: es la resistencia del pavimento a ser penetrado por el aire y el agua.
- Trabajabilidad: es la facilidad de una mezcla a colocarse y compactarse.

#### **2.5.4.6 MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL**

Las mezclas asfálticas son sistemas cohesivos compuesto por tres fases: una sólida (agregados filler, etc), un líquido de elevada viscosidad (asfalto) y por último una gaseosa (aire). Las proporciones relativas en que se combinan estos, determinan las características físicas mecánicas de las mezclas y el comportamiento posterior como pavimento terminado.

La mezcla asfáltica tiene que ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, elevadas temperaturas, etc. Debe ser resistente a las sollicitaciones de tránsito a través de su estabilidad. Una mezcla debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.

Existen distintos tipos de mezclas asfálticas, una primera división la podemos efectuar considerando su temperatura de elaboración, tendremos entonces las mezclas en frío elaboradas a una temperatura inferior a 100 °C y las en caliente, cuando su temperatura de producción sea superior a la misma.

#### **2.5.4.7 MEZCLAS MODIFICADAS CON POLIMERO**

Está comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades muy satisfactorias bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo en la actualidad existen situaciones como grandes e intensos volúmenes de tráfico vehicular y excesos de carga, lo que origina un incremento en la presión de inflado de las llantas y por consiguiente ocasiona el deterioro en el pavimento, poca durabilidad, deformaciones y otros, por lo tanto no satisfacen las expectativas de cumplir su vida útil.

Además en los asfaltos convencionales, aún con los grados más duros no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito, especialmente cuando se afrontan condiciones de temperatura alta.

En asfaltos con mayor dureza se corre el riesgo de formaciones de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas. Una solución evidente fue mejorar las características de los asfaltos para mejorar su comportamiento en los pavimentos, de ahí se originan los nuevos asfaltos que fueron denominados “Asfaltos Modificados”.

##### **2.5.4.7.1 PROPIEDADES DEL ASFALTO MODIFICADO**

Las principales propiedades físicas y reológicas que se obtienen las modificar un asfalto son las siguientes:

- Aumento de viscosidad, dependiendo de la cantidad y tipo de polímero.
- Disminución de la penetración.
- Aumento del punto de inflamación.
- Disminución la susceptibilidad a las variaciones de temperatura.
- Aumento de 1° y 2° la clasificación PG (Grado de Penetración) del asfalto.
- Elevación de la recuperación elástica del asfalto hasta arriba del 30%.
- Elevación la resiliencia por encima de 25.
- Amplio rango de temperatura en el manejo y almacenamiento.
- Mayor intervalo de plasticidad.
- Mayor cohesión.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

## **2.6 MÉTODO DE EVALUACIÓN DE ADHERENCIA**

### **2.6.1 GENERALIDADES**

Es importante destacar, en primer lugar, la influencia de la adherencia entre la capa base y las capas del pavimento en su comportamiento mecánico y durabilidad.

En estudios recientes se ha evaluado el efecto de la adherencia en el desempeño de pavimentos usando diferentes modelos mecanicistas. En diversos análisis presentados sobre la adherencia entre capas se concluye que la vida de un pavimento se reduce de 20 a 7 u 8 años debido a la deficiencia en la adherencia entre las capas asfálticas.

Otros estudios basados en modelos mecanicistas, demuestran el incremento en los niveles de tensión que se observan en capas de pavimentos multicapa mal adheridos.

### **2.6.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADHERENCIA**

En general se sabe que la resistencia de adherencia entre capas de un pavimento asfáltica depende de varios factores relacionados con materiales y procedimientos constructivos que han sido investigados con distintos métodos en trabajos anteriores. De los diversos antecedentes recopilados para esta investigación se han rescatado los principales factores que influyen en la adherencia entre capas, éstos se detallan a continuación.

### **2.6.3 TIPO DE LIGANTE**

Es esperable que los ligantes comúnmente empleados en riegos de liga posean propiedades físico-químicas diferentes, pues su composición generalmente varía significativamente. Recientemente se han realizado diversos estudios, los cuales demuestran que el nivel de resistencia al corte alcanza valores distintos dependiendo de la emulsión utilizada como riego de liga, y en general se obtienen mejores resultados con aquellas emulsiones de residuo asfáltico de mayor dureza. La figura es un ejemplo de las adherencias obtenidas con diferentes riegos de liga, en un estudio realizado en España.

### **2.6.4 TASA DE APLICACIÓN DEL RIEGO DE LIGA**

Con respecto a este punto se han llevado a cabo diversos estudios los cuales señalan tanto que un exceso de riego de liga, como también una cantidad insuficiente de ésta conduce a una pérdida de adherencia, por el contrario algunos estudios demuestran que en algunos casos el riego de liga es innecesario. Es importante señalar que la tasa de aplicación óptima dependerá de las condiciones de la superficie de las capas de asfalto, las cuales pueden variar según el tipo de mezcla empleado o si se trata de un pavimento envejecido, nuevo o fresado. Basándose en los antecedentes revisados se observa que en general las dosis óptimas se encuentran en el rango de 0,8 (L/m<sup>2</sup>) hasta los 1,5 (L/m<sup>2</sup>).

### **2.6.5 TIEMPO DE CURADO DEL RIEGO DE LIGA**

Con respecto a este factor existen estudios contradictorios, la mayoría de ellos señalan que el riego de liga debe encontrarse como película asfáltica ligante (haber alcanzado su quiebre), en el caso de las emulsiones, previo a la colocación de la siguiente capa asfáltica, mientras que otros indican que no es aconsejable dejar curar demasiado tiempo, ya que el riego puede perder sus propiedades adherentes. Algunos estudios han encontrado que a mayor tiempo de curado la resistencia incrementa levemente, mientras que otros han demostrado lo contrario, más aún, existen estudios que sugieren que no es necesario curar el riego de liga, ya que este quiebra inmediatamente gracias a la elevada temperatura de la nueva capa de asfalto, evaporándose el agua y escapando a través de la mezcla suelta a la superficie.

### **2.6.6 CONDICIÓN DE SUPERFICIE DE LA INTERFAZ**

La condición de la superficie de un pavimento nuevo o antiguo incluyendo textura, limpieza y presencia de agua son uno de los factores de mayor importancia que influyen en la adherencia entre capas. En general se recomienda que el riego de liga se aplique sobre una superficie limpia y seca. En la actualidad existen una gran variedad de estudios a este respecto, y existe acuerdo en que la presencia de agua sobre el riego de liga es muy perjudicial para la adherencia resultante, y en menor medida ocurre lo mismo para la contaminación con polvo. Por otro lado cuando se trata de un pavimento existente se tienen buenas adherencias en superficies fresadas, mientras que en pavimentos nuevos hay contradicciones en cuanto a que la mayor adherencia se obtiene con una mezcla con árido graduado fino o grueso.

### **2.6.7 TEMPERATURA DE CONFECCIÓN Y COMPACTADO**

Con respecto a este punto existen estudios que demuestran que tanto una elevada temperatura de la capa inferior, capa superior y temperatura ambiente, resultan

beneficiosos para la obtención de una buena adherencia, esto podría deberse a que a mayores temperaturas el cemento asfáltico de la capa superior logra fusionarse mejor con el asfalto de la capa inferior o residuo del ligante empleado como riego de liga, para conformar una unión continua y homogénea en la interfaz.

#### **2.6.8 ENERGÍA DE COMPACTACIÓN Y TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA**

En cuanto a las mezclas asfálticas que conforman un pavimento multicapa, éstas también influyen en la adherencia resultante, donde en general se obtienen mejores resultados mientras más densas y cerradas sean las mezclas. Por lo tanto para una misma mezcla se tendrán mejores niveles de adherencia mientras mayor sea el grado de compactación de la misma.

#### **2.7 ENSAYO DE CORTE LCB**

El ensayo de corte LCB, fue desarrollado por el Laboratorio de Caminos de Barcelona, y es aplicable a testigos o probetas construidas en laboratorio de de capa base y una capa de rodadura de 4 pulgadas de diámetro.

El ensayo de corte LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona), de ejecución muy sencilla, capaz de medir la resistencia a las tensiones tangenciales provocadas por la aplicación de una fuerza de corte que se producen en la unión de dos capas asfálticas, adheridas o no por un riego de adherencia. También se mide la deformación de una de las capas respecto la otra.

Este ensayo permite tanto el control de la calidad alcanzada en obra mediante la rotura de testigos, como la evaluación del efecto de diferentes riegos de adherencia mediante la rotura de probetas fabricadas en el laboratorio.

Si aplicamos una carga  $P$  en la mitad de la luz de la probeta, la ecuación que da el valor de las tensiones tangenciales sobre la junta es:

$$t = \frac{P}{S}$$

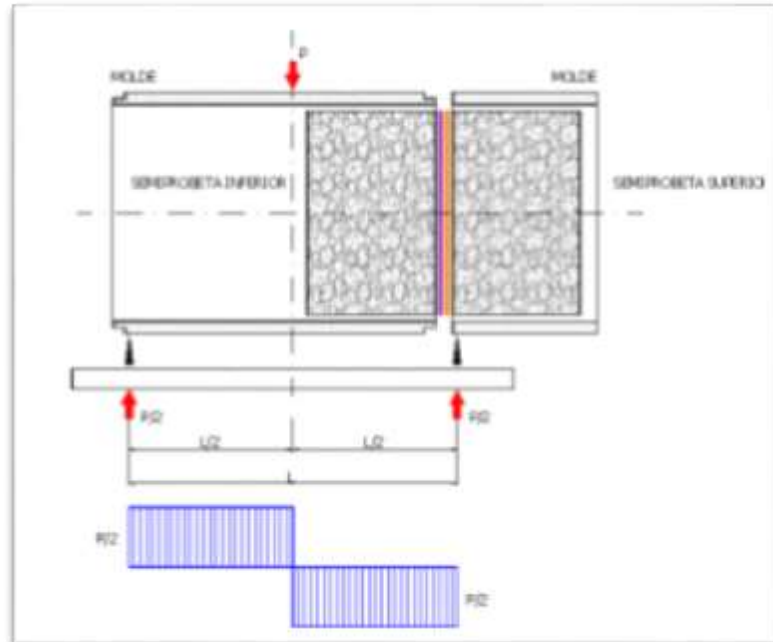
Dónde:

$t$ : Tensión tangencial sobre la junta.

$P$ : Carga aplicada.

$S$ : superficie de la sección transversal de la probeta.

*Figura 2.11 Esquema Del Ensayo LCB Y Distribución De Cargas*



*Nota. Fuente: Propia*

Los detalles del ensayo de resumen a continuación:

- La velocidad de carga del ensayo es de 1.27 mm/min.
- Se registra la carga y deformación a intervalos de 10 segundos hasta la falla.
- El punto de carga debe ser a la mitad de la separación entre los puntos de apoyo.
- El ensayo se puede realizar a diferentes temperaturas.
- El plano de unión entre capas debe quedar a 5 mm del borde del apoyo y a 5 mm del borde de la mordaza metálica.

Dentro de las ventajas que posee esta metodología de ensayo destaca su fácil implementación, y que debido a la baja velocidad de ensayo permite registrar la carga vs deformación sin necesidad de un equipo de adquisición de datos. Por otro lado la principal desventaja es que con esta metodología la deformación relativa entre las capas de la unión del testigo o probeta no se puede determinar directamente, pues durante el ensayo se registra la deformación del pistón de la prensa, que en este caso difiere de la deformación relativa entre capas pues ocurre un efecto de pivote durante el ensayo.

### **2.7.1 PUESTA A PUNTO DEL ENSAYO DE CORTE LCB**

Debido a que en experiencias previas de análisis se obtuvieron resultados inferiores a los encontrados en los antecedentes estudiados, además de una alta dispersión, se hace necesario revisar todas las variables a controlar para el ensayo de corte LCB, como se verá más adelante estas variables no estaban suficientemente bien controladas, lo que resultaba en una alta dispersión de los resultados, y en algunos casos conducía a resultados erróneos.

#### **2.7.1.1 TEMPERATURA DE ENSAYO**

En cuanto a este factor existe acuerdo que la temperatura de ensayo tiene una fuerte



influencia en los resultados obtenidos.

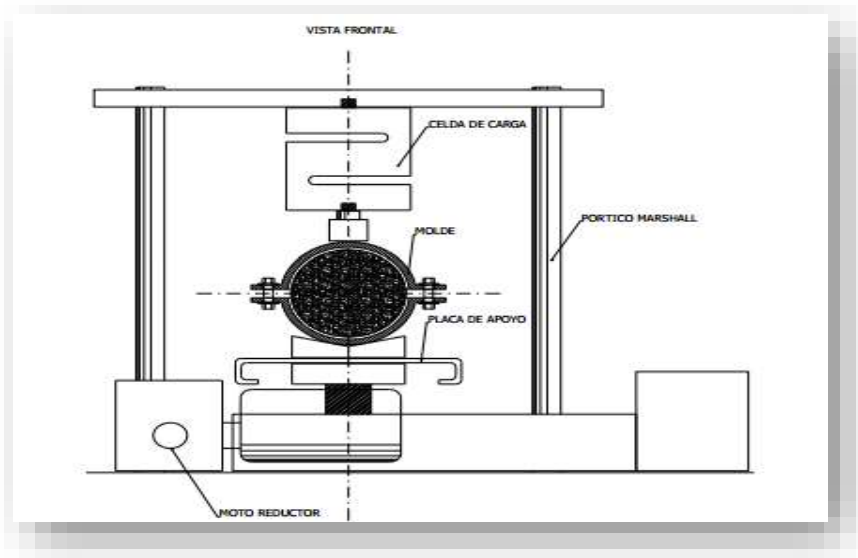
La figura muestra los resultados obtenidos en un estudio realizado, donde se aprecia que a mayores temperaturas la resistencia obtenida disminuye, por tanto este parámetro debe ser fijado para poder realizar comparaciones válidas. El ensayo LCB, ha sido fijado a una temperatura de 20° C, pero debido a la imposibilidad de contar con una cámara termostática capaz de mantener constante la temperatura de las probetas, independientemente de la temperatura exterior, anteriormente se ha tratado de mantener la temperatura fija a 20° C mediante el uso de horno y la temperatura ambiente del laboratorio, la cual varía entre los 20 y 25 grados.

### **2.7.2 EL DESARROLLO DEL EQUIPAMIENTO**

Se ha optado por llevar adelante las investigaciones en base a las determinaciones efectuadas por el Ensayo de corte LCB. El principio de ese ensayo, por ser un corte debido a un esfuerzo de flexión con carga centrada, puede satisfacerse con el común de los instrumentales, en especial prensas que permitan desarrollar compresiones, presentes en los laboratorios viales.

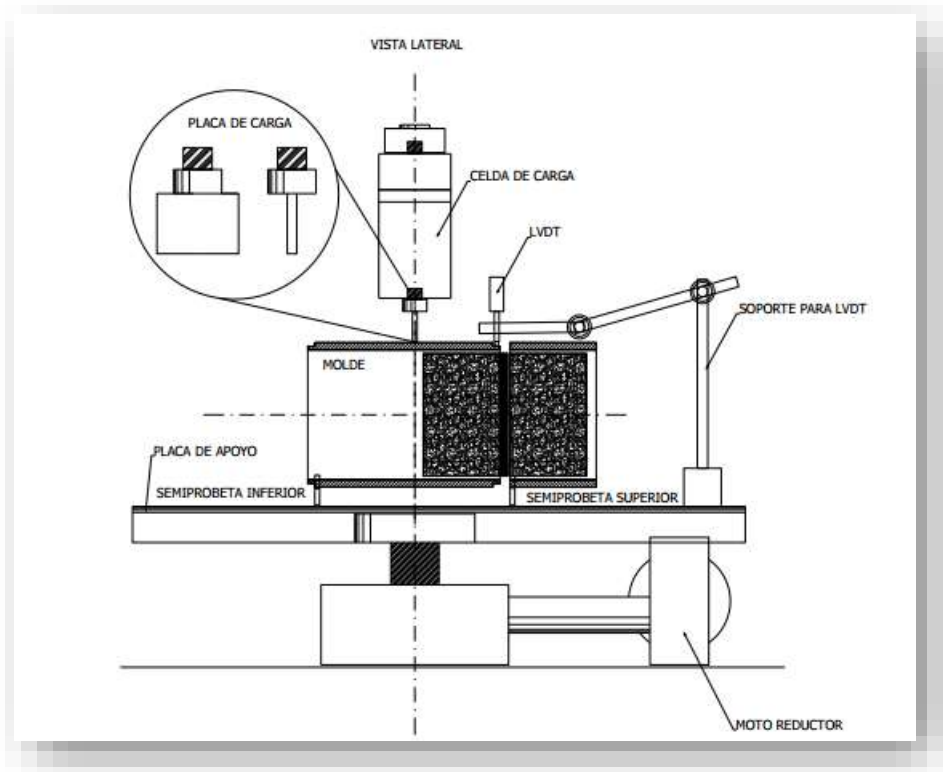
La prensa, sumada al sistema de apoyo y el registro de cargas y deformaciones, constituyen los principales elementos del equipamiento necesario para la ejecución del ensayo, por lo cual se tratarán en distintos apartados. Los lineamientos del Ensayo de corte LCB, con que se han basado las investigaciones, se encuentran publicados en la ponencia del XI Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto (CILA) “Ensayo de corte LCB para la medida de la adherencia entre las capas asfálticas”, como así también en la patente de invención “Procedimiento de ensayo de corte para la evaluación de la unión entre capas proporcionada por los riegos de adherencia”.

*Figura 2.12 Vista Frontal De La Máquina Para El Ensayo De Corte por Flexión LCB*



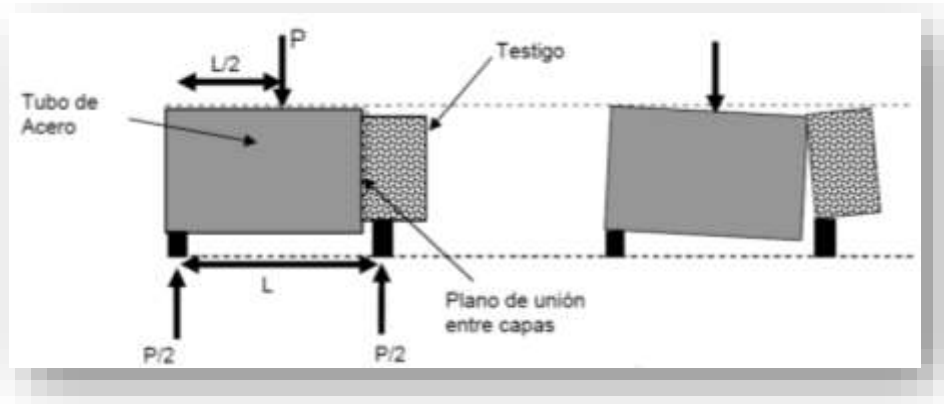
*Nota. Fuente: Manual De Ensayo De Corte LCB*

*Figura 2.13 Vista Lateral De La Máquina Para El Ensayo De Corte por Flexión LCB*



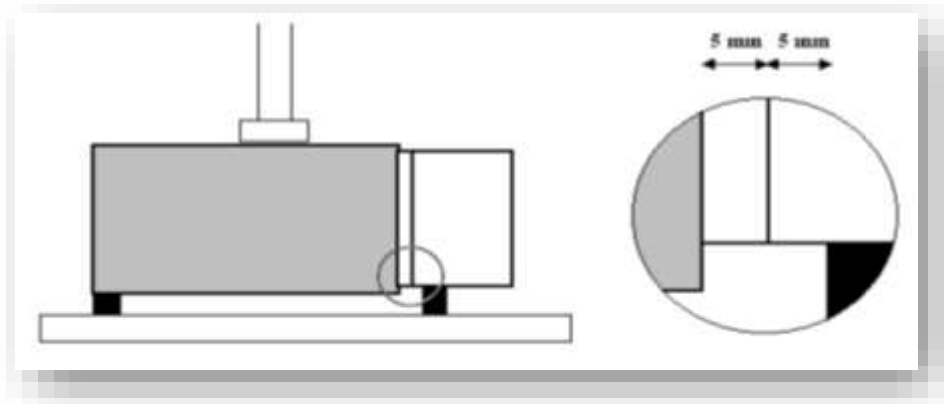
*Nota. Fuente: Manual De Ensayo De Corte LCB*

*Figura 2.14 Esquema Del Ensayo LCB*



*Nota. Fuente: Manual De Ensayo De Corte LCB*

*Figura 2.15 Esquema Del Ensayo LCB*



*Nota. Fuente: Manual De Ensayo De Corte LCB*

*Figura 2.16 Vista Frontal Del Ensayo En La Presa Marshall En El Laboratorio De SEDECA*



*Nota. Fuente: Propia*

El Ensayo de corte LCB mide la resistencia a las tensiones tangenciales provocadas por la aplicación de una fuerza cortante en el plano de debilidad o unión entre dos capas de un pavimento. La aplicación de las cargas se puede materializar mediante el empleo de una prensa Marshall convencional y un sistema de apoyos tal que la probeta quede como una viga simplemente apoyada en dos puntos. Para generar el esfuerzo cortante en el plano a evaluar, uno de los apoyos debe ser coincidente con éste. La mencionada prensa es una máquina con velocidad de avance controlada, la cual se ha modificado para llevarla a 1,27 mm/min. Este equipo se ha difundido en la mayoría de las reparticiones viales, por lo que, su adaptación para la concreción de los ensayos del tipo LCB es de fácil adopción para la mayoría de las citadas instituciones.

#### **2.7.2.1 EL SISTEMA DE APOYOS Y LAS MORDAZAS**

El sistema de apoyos es un elemento primordial para el ensayo dado que la verdadera sollicitación actuante sobre el plano de debilidad a evaluar es generada por la reacción en el apoyo. Además el sistema de apoyos, debería ser tal que la probeta o núcleo

calado, que son de forma cilíndrica calcen justo y de manera centrada en los apoyos, para obtener así el sentido normal adecuado entre el eje axial de la probeta y la placa de carga. Es entonces que se ha diseñado una placa metálica, que sea apoyada en forma perfecta en la placa circular con que viene provista la prensa Marshall de fábrica. De esta manera la placa de apoyo queda fija y centrada, impidiéndose su movimiento en el transcurso del ensayo.

Por otro lado en la parte superior de la placa de apoyo se soldaron dos “orejas”, o apoyos propiamente dichos en forma de “V” en las cuales se asienta la probeta o núcleo calado del pavimento. La forma de “V” propicia el auto centrado de la probeta a la hora de su colocación en la máquina de ensayo, y además tiene la ventaja sobre la forma “media caña” de permitir el alojamiento de probetas y/o núcleos calados de diferentes diámetros. La distancia entre los apoyos en forma de “V” se ha establecido en 155 mm.

*Figura 2.17 Vista De La Placa De Apoyo De La Probeta Y Los Demás Accesorios Del Molde Para El Ensayo LCB*



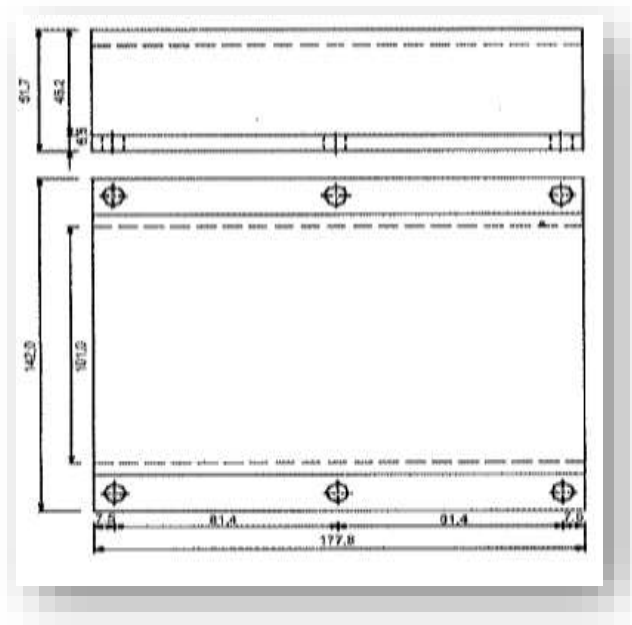
*Nota. Fuente: Propia*

El conjunto de elementos metálicos confeccionados para esta investigación se

complementó con, el molde metálico para confección de probeta, bases bajas o normales para moldes, bases altas para moldes, collares o sobre moldes, mordazas del tipo media caña, tocho metálico para semi desmolde o desmolde completo de las probetas, anillo para desmolde de probetas.

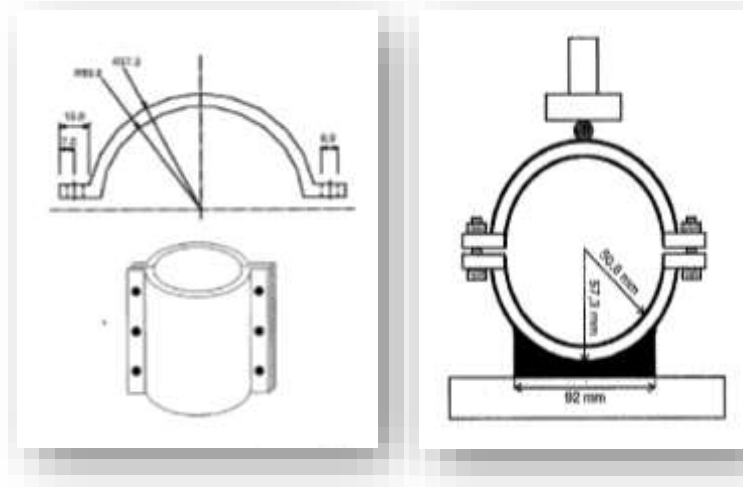
De los elementos mencionados con anterioridad, merecen especial atención las mordazas tipo media caña. Ellas han sido diseñadas con el diámetro interno adecuado para alojar las probetas de ensayo y además con dos orejas rectangulares que poseen dos perforaciones lo que permite ajustar la media caña complementaria mediante el ajuste de tornillos, para de esa manera poder dejar enfundada una probeta o núcleo calado del pavimento lista a ser ensayada.

*Figura 2.18 Vista En Planta Del Diseño Del Molde Del Ensayo LCB*



*Nota. Fuente: Manual De Ensayo De Corte LCB*

*Figura 2.19 Vista En Planta Del Diseño Del Molde Del Ensayo LCB*



*Nota. Fuente: Manual De Ensayo De Corte LCB*

### **CAPITULO III: PREPARACION DE MATERIALES Y ANALISIS DEL ENSAYO LCB (LABORATORIO DE CAMINOS DE BARCELONA), PARA LA EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL EN LOS RIEGOS DE LIGA ENTRE CAPAS**

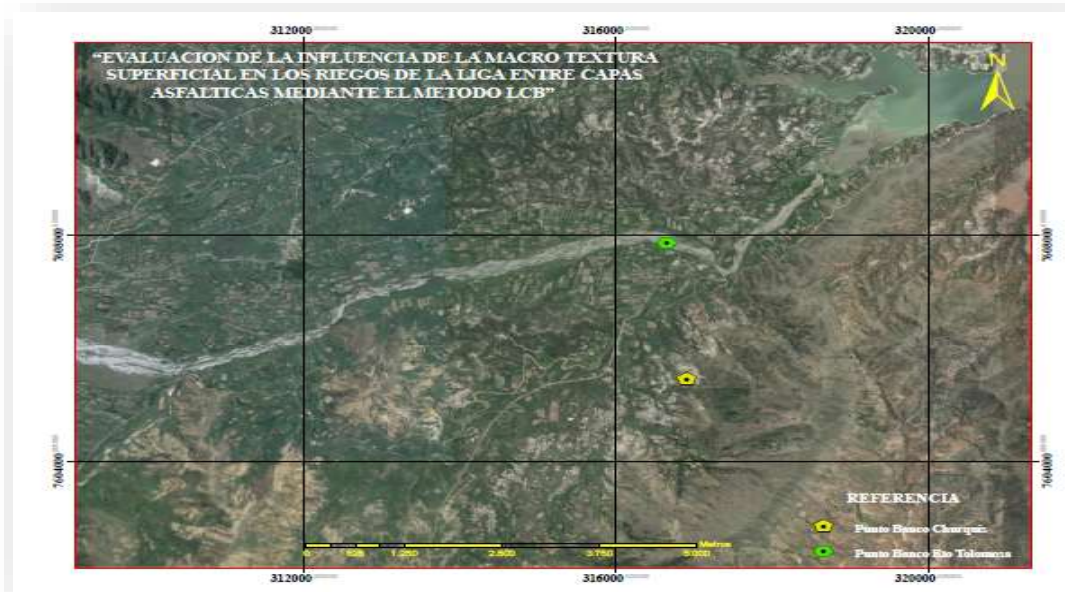
#### **3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES**

Los materiales que se utilizarán para el presente proyecto son los siguientes:

Los agregados a utilizar para la capa base son del Tramo TOLOMOSA – PAMPA REDONDA del departamento de Tarija.

- El material ligante extraído del Banco de CHURQUIS con coordenadas “E 0316902 y N 7605461”
- El material de río se lo extrajo del banco del RIO TOLOMOSA con coordenadas “E 0316644 y N 7607894”.

*Figura 3.1 Ubicación de los bancos de material de Capa Base CHURQUIS Y TOLOMOSA*



*Nota. Fuente: Propia*

Los agregados a utilizar para la mezcla asfáltica con cemento convencional, cemento modificado y emulsión asfáltica son de la Chancadora Vafercom ubicada en el Comunidad de Tolomosa y de la planta asfáltica de CHARAJA.

*Figura 3.2 Mapa político de Tarija*



*Nota. Fuente: Propia*



*Figura 3.3 Provincia Cercado*



*Nota. Fuente: Propia*

Para la presente investigación se utilizaron dos tipos de cemento asfáltico y una emulsión asfáltica:

- Cemento asfáltico convencional de procedencia STRATURA ASFALTOS (BRASIL) BETUPEN 85 – 100 de la planta del Valle central de Tarija – SEDECA EN LA COMUNIDAD DEL RANCHO.
- Cemento asfáltico modificado de procedencia STRATURA ASFALTOS (BRASIL) BETUFLEX 60-80 de la planta del Valle central de Tarija – SEDECA EN LA COMUNIDAD DEL RANCHO.
- Emulsión asfáltica de procedencia VIAS&ASFALTOS (SANTA CRUZ) IMPRIMAX

*Figura 3.4 EMULSION ASFALTICA IMPRIMAX*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.5 CEMENTO ASFALTICO BETUMEN Y CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO BETUFLEX*



*Nota. Fuente: Propia*

### **3.2 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN PARA LA CAPA BASE**

A continuación se detalla brevemente los ensayos normalizados que son realizados sobre los materiales de capa base utilizada, y se hace referencia a los procedimientos y los procedimientos normalizados para la realización de los ensayos.

#### **3.2.1 HUMEDAD HIGROSCOPICA**

Este ensayo tiene por finalidad, determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. El contenido de humedad de una masa de suelo, está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica.

La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este.

Definición: La Humedad Higroscópica, es la relación del peso del agua entre el peso de los sólidos de un suelo.

Fórmula:

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Equipo y material que se utiliza:

- Horno eléctrico, que mantenga la temp. constante a 105 grados Centígrados.
- Balanza con aproximación al 0.1 gr.
- Charola y cápsula de aluminio
- Espátula
- Cristal de reloj

Procedimiento:

1. Se anota el número de la charola y se pesa, anotándola como tara (T).
2. Se vacía suelo húmedo a la charola y se pesa, anotándola como tara + suelo húmedo (T + Sh).
3. Se pone a secar el suelo en la estufa, moviéndolo algunas veces para que sea más rápido el secado, se coloca encima el cristal de reloj para comprobar que el suelo ya no tenga humedad; esto ocurrirá cuando ya no empañe el cristal.
4. Posteriormente, se deja enfriar (charola y suelo)
5. Se procede a pesar, lo que sería charola + suelo seco (T + S's)
6. Y se realizan los cálculos para determinar el contenido de agua por el método rápido.

$$w = \frac{(T + Sh) - (T + S's)}{(T + S's) - T} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

### **REORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.6 Taras Analizadas*



*Nota. Fuente: Propia*

El resultado del ensayo para las diferentes capas se encuentra en anexos.

### **3.2.2 LIMITES DE ATTERBERG**

Los suelos que poseen algo de cohesión, según su naturaleza y cantidad de agua, pueden presentar propiedades que lo incluyan en el estado sólido, semi-sólido, plástico o semi-líquido. El contenido de agua o humedad límite al que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro. El método usado para medir estos límites se conoce como método de Atterberg y los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estados.

#### **Definiciones**

El límite líquido es la frontera comprendida entre los estados Semi-líquido y Plástico, definiéndose como el contenido de humedad que requiere un suelo previamente remodelado, en el que al darle una forma trapecial sus taludes fallen simultáneamente, cerrándose la ranura longitudinalmente 13mm., sin resbalar sus apoyos, al sufrir el impacto de 25 golpes consecutivos, con una frecuencia de 2 golpes por segundo, en la Copa de Casagrande, teniendo una altura de caída de 1 cm.

El Límite Líquido, se define también como el contenido de humedad que requiere un suelo para presentar una resistencia al esfuerzo cortante de aproximadamente  $25 \text{ gr/cm}^2$ , independientemente de su mineralogía.

El límite plástico es la frontera comprendida entre el estado plástico y semi-sólido. Se define como el contenido de humedad que posee un cilindro de material en estudio de 11 cm. de longitud y 3.2 mm. De diámetro (formado al girarlo o rolarlo con la palma de la mano sobre una superficie lisa) al presentar agrietamientos en su estructura.

#### **Equipo y material que se utiliza**

- Copa de Casagrande
- Ranurador laminar o ranurador curvo
- Cápsula de porcelana
- Espátula

- Charolas de aluminio o vidrio de reloj
- Malla No. 40
- Horno con temperatura constante de 105°C
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Molde para Contracción lineal
- Calibrador con Vernier
- Placa de vidrio
- Alambre con un diámetro de 3.2 mm.
- Pizeta
- Franela
- Agua

### **Procedimiento**

1. El suelo debe ser cribado por la malla No. 40, el cual se vacía en una cápsula de porcelana y debe humedecerse 24 hrs. antes de estas determinaciones.
2. Se pesan las charolas de aluminio (4 para el LL y 2 para el LP)
3. Para el Límite Líquido, el suelo es mezclado en la cápsula de porcelana, hasta que se vea una mezcla manejable, se coloca en la Copa de Casagrande, distribuyendo el material del centro hacia los extremos, de tal manera que en el centro quede una superficie a nivel.
4. Se hace una ranura en la parte media del suelo, utilizando el ranurador, de tal forma que este vaya perpendicular a la Copa de Casagrande.
5. Se procede a darle los golpes en la Copa, con una frecuencia de 2 golpes por segundo, hasta que los taludes del material se unan en una longitud de 13 mm., los golpes son contados y son registrados en la columna de Número de golpes.

Debe tratarse de que esta condición, antes descrita se cumpla entre 4 y 40 golpes, para que la prueba se tome como bien ejecutada; se recomienda que esta condición se logre una vez en cada uno de los siguientes intervalos de golpes:

Una vez entre 30 y 40 golpes,  
 Otra entre 20 y 30 “  
 Otra entre 10 y 20 “  
 Otra entre 4 y 10 “

Lo anterior es recomendado con el fin de que los puntos obtenidos al graficar, el número de golpes contra contenido de agua, estos queden separados unos de otros y se pueda definir con mayor claridad la Curva de Fluidez.

En cada una de estos ensayos se toman muestra del centro de la Copa, las cuales son pesadas y se anotan en el registro como: tara + suelo húmedo.

6. Estas muestras son introducidas al horno para determinar el contenido de humedad en cada ensaye.
7. Cuando el suelo tenga la humedad correspondiente al LL (ensaye en el intervalo de 20 a 30 golpes), se llena el molde rectangular, en 3 capas, dándole los suficientes golpes a cada capa contra la mesa, con el fin de extraerle el aire atrapado, después el molde se enrasa, se limpia exteriormente con una franela húmeda y finalmente se pesa, anotándolo como: Peso del molde + suelo húmedo.

Para la determinación del Límite Plástico (LP):

1. De la muestra menos húmeda, pero que sea moldeable, se hace primeramente una esfera de 1.5 cms. aproximadamente.
2. Se gira o se rola con la palma de la mano, sobre la placa de vidrio, tratando de

hacer un cilindro alargado y con un diámetro de 3.2 mm. (se utilizará un alambre para comparar).

3. Si este cilindro presenta agrietamientos múltiples, se dice que el suelo presenta el Límite plástico, donde se obtendrán muestras de suelo, se someterán al secado para determinar el contenido de agua, el cual equivale al LP.
4. En caso de no cumplirse la anterior condición, el suelo se hará de nuevo una esfera y se repetirá el proceso hasta que se cumpla lo especificado.

### **Cálculos**

Para el Límite Líquido, las muestras son sacadas del horno, se dejan enfriar y se pesan, se registran en la columna de: tara + suelo seco.

Con estos datos se obtiene el contenido de agua en los 4 ensayos, se grafican: Número de golpes contra contenido de agua, obteniéndose 4 puntos, por los cuales se traza una línea recta por los puntos o parte intermedia de ellos, a esta recta se le llama Curva de Fluidez; en 25 golpes, subimos e interceptamos la Curva de Fluidez y de ahí con la horizontal, leemos ese contenido de humedad, la que corresponderá al Límite Líquido.

Para el Límite Plástico, se procede a obtener el contenido de agua correspondiente, estos 2 contenidos de agua se promediarán siempre y cuando no haya una diferencia mayor a 2 puntos porcentuales, en caso contrario se tendrá que repetir esta prueba. El promedio antes descrito, se reportará como el resultado de Límite Plástico. Para obtener el Índice Plástico ( $I_p$ ) =  $LL - LP$

### **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.7 Análisis de las Muestras en el Equipo Casa grande*





*Nota. Fuente: Propia*

El resultado del ensayo para las diferentes capas se encuentra en anexos.

### 3.2.3 COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR

La compactación se define como el proceso mecánico mediante el cual se disminuye la cantidad de huecos en una masa de suelo, obligando a sus partículas a un contacto más íntimo entre sí, es decir, a un aumento de la densidad de un material determinado.

El ensayo consiste en compactar en un molde de volumen conocido muestras de un mismo suelo, pero con distintas humedades y con la misma energía de compactación. Se registran las densidades secas y el contenido de humedad de cada molde (ideal 5), graficando los resultados, donde el punto más alto de la curva representa la DMCS y su proyección en la abscisa la humedad óptima.

Definición: El Método de compactación Proctor nos sirve para Determinar el peso volumétrico seco máximo ( $\gamma_{dm\acute{a}x}$ ) Y la humedad óptima ( $W_{opt}$ ) del suelo en estudio.

#### Equipo y material que se utiliza

- Compactador automático
- Molde de compactación de 0.94 lts. Y su extensión
- Pisón de un peso de 2.5 Kg.
- Charola rectangular de 40X60 cms.
- Cápsulas de aluminio
- Horno
- Balanza con aproximación a 0.1 gr.
- Probeta con capacidad de 100 ml.
- Malla No. 4
- Regla o solera para enrasar
- Vaso de aluminio
- Agua

- Aceite y brocha
- Estopa para limpieza del molde
- Suelo arcilloso que pasa la malla No. 4

### **Procedimiento**

1. Se pesan las cápsulas de aluminio y el molde de compactación, anotando estos datos en el registro correspondiente.
2. Se prepara una muestra de 3 Kg. De suelo secado al sol, se le incorpora la cantidad de agua suficiente para tenga de un 4 a un 6% abajo de la humedad óptima, se uniformiza la humedad, se vacía suelo húmedo a la primera cápsula de aluminio que se haya pesado, hasta completar las  $\frac{3}{4}$  partes de su capacidad, la cual se pesa y se registra como:

(Peso de cápsula + suelo húmedo)

Las cápsulas se introducen al horno; esto es con el fin de determinar el contenido de agua para este ensaye.

3. Con el material restante, llenamos el molde, compactándolo en 3 capas aproximadamente iguales, dándole 25 golpes a cada una de estas. Después de que se haya compactado en suelo, la última capa no debe salir del molde mas de 2.5 cms.
4. Se enrasa el molde y se pesa, registrándolo como: Peso del molde + suelo húmedo.
5. Se saca el material del molde, se reintegra al resto del material que se encuentra en la charola, se disgrega hasta dejarlo como estaba inicialmente.
6. Se le hace el incremento de agua recomendado, que es de un 2% con respecto al peso inicial de la muestra (3,000 grs.); por lo que la cantidad de agua a agregar es:

Cantidad de agua =  $3,000 \times 0.02 = 60$  grs. De agua ó 60 ml.

7. Se distribuye la humedad en forma homogénea y se repite la compactación como se describió anteriormente; se compacta las veces necesarias hasta que el peso del molde + suelo húmedo de un valor igual o menor que el inmediato anterior.
8. Es recomendable que esta prueba se logre en un mínimo de 4 ensayos y un máximo de 6, con el fin que se logre definir la parábola de forma completa.
9. Después de 24 hrs. Las cápsulas son extraídas del horno y se pesan, registrándolas como:

Peso de cápsula + suelo seco

10. Se obtienen los cálculos del registro de la siguiente forma:

Peso del suelo húmedo ( $W_m$ ) = (Peso del molde + suelo húmedo) – (Peso del molde)

Peso volumétrico húmedo en  $kg/m^3$

$$\gamma_m = W_m/v$$

Donde:

V= volumen del molde  $m^3$

Peso del agua ( $W_w$ ) = (Peso de capsula + Suelo Humedo) – (Peso de capsula + suelo seco)

Peso de suelo seco ( $W_s$ ) = (Peso de capsula + Suelo seco) – (Peso de capsula)

Contenido de agua ( $w$ ) = ( $W_w / W_s$ ) x 100

Pesos volumétricos secos ( $\gamma_d = (\gamma_m)/(1+(w/100))$ )

## **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.8 COMPACTADO de la MUESTRA*



*Nota. Fuente: Propia*

El resultado del ensayo para las diferentes capas se encuentra en anexos.

### **3.2.4 GRANULOMETRIA**

Esteme todo de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas de agregado grueso y de fino, empleando tamices de aberturas cuadradas, siendo también aplicable el empleo de cribas e laboratorio de aberturas circulares.

#### **Definición**

Se designa como ensaye granulométrico a la determinación de la distribución de las partículas de un suelo en cuanto a su tamaño.

#### **Aplicación**

Al realizar un análisis granulométrico en suelos gruesos, tiene las siguientes aplicaciones:

- a) Poder clasificar los suelos de acuerdo a su graduación.
- b) Analizar el material más factible para la construcción de pavimentos.
- c) Calcular el coeficiente de permeabilidad en una forma aproximada. Y en suelos finos (partículas que pasan la malla No. 200)
- d) Es conveniente obtener el porcentaje de partículas menores de 0.002 mm., para definir los porcentajes de limo y arcilla que contiene un suelo; en función de lo anterior podremos definir u obtener la actividad de ese suelo.

#### **Equipo y material que se utiliza**

- Juego de mallas (comúnmente se utilizan: 3", 2", 1", ¾", ½", 3/8", No.4, No.10, No.20, No.40, No.60, No.100, No.200 y la Charola).
- Cucharón
- Balanza con aproximación a 0.1gr.
- Charolas rectangulares de 40X60 cms.
- Espátula y vidrio de reloj
- Partidor de muestras o cuarteador

- Malla No. 200, para el lavado del suelo que pasó la malla No. 4
- Alambrón de 5 mm de diámetro, con punta redondeada.
- Horno o estufa
- Charolas de aluminio
- Vaso de aluminio
- Agua
- Suelo en estudio

### **Procedimiento**

Del suelo secado al sol, disgregado y cuarteado, se obtiene una muestra representativa, la cual es pesada y se anota el peso en el registro correspondiente.

1. Se procede a pasar el material por las diferentes mallas, que van de mayor a menor abertura tal y como se presentan en el registro propio para este ensaye.
2. El material retenido en cada malla se va pesando y anotando en la columna de peso retenido.
3. Todo lo anterior se realiza hasta la malla No. 4 y con el material que pasa dicha malla se procede a obtener una porción de suelo que sea representativa, para ello habrá que pasar el material las veces necesarias por el partidore de muestras, hasta que se obtenga una muestra de entre 500 y 1000 grs.
4. La muestra anterior se pone a secar totalmente (hasta que no empañe el cristal de reloj), esta se enfría y se pesa una muestra de 200.0 grs., la cual se vacía a un vaso de aluminio y se vacía agua hasta llenarlo; con esto se procede a realizar el Lavado del suelo. Si el suelo en estudio, tiene una cantidad apreciable de grumos, este se deja en saturación por 24 hrs.
5. El Lavado del suelo, consiste en agitar el suelo utilizando el alambrón con punta redondeada, haciendo figuras en forma de “ochos” durante 15 segundos.
6. Se vacía el líquido a la malla No. 200, con el fin de eliminar los finos (que es el material que pasa dicha malla), posteriormente se vierte más agua al vaso

y se agita de la forma antes descrita.

7. Cuando en la malla se acumule mucho material (arena), se reintegra al vaso, vaciando agua sobre el reverso de la malla, siempre cuidando de no perder material; esto se hará cada 5 veces que se vacíe agua con finos a la malla No.200. Esta operación se repite las veces necesarias para que el agua salga limpia o casi limpia.
8. El suelo es secado al horno o a la estufa, se deja enfriar y después se pasa por las siguientes mallas, que son la No. 10 a la No. 200.
9. Para que sea un vibrado más eficaz se recomienda, llevar todo el conjunto de mallas al vibrador de mallas.
10. Se procede a pesar el material retenido en cada malla.
11. Se realizan los cálculos de: % retenido parcial, % retenido acumulado, % que pasa, se dibuja la curva granulométrica.
12. Se calculan: los % de grava, de arena y de finos, así como los Coeficientes de uniformidad (Cu) y de Curvatura (Cc).

### **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.9 Juego de Tamices*



*Nota. Fuente: Propia)*

El resultado del ensayo para las diferentes capas se encuentra en anexos.

### **3.2.5 DOSIFICACION CAPA BASE**



Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye generalmente sobre la sub-base, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que se transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, proporcionar a la estructura del pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua.

### **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.10 PESADO DE MUESTRAS*



*Nota. Fuente: Propia*


*Figura 3.11 COMPACTADO DE MUESTRAS*



*Nota. Fuente: Propia*


#### **3.2.5.1 DOSIFICACION CAPA BASE – ABIERTA**

*Tabla 3.1 Dosificación Capa Base Abierta*

	<b>SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS</b> <b>D-3</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES</b>
	<b>DOSIFICACION CAPA BASE ABIERTA</b>
<b>Proyecto</b> EVALUACION DE LA INFLUNCIA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL EN LOS RIEGOS DE LIGA ENTRE CAPAS MEDIANTE EL METODO LCB	
<b>Procedencia:</b> Material Capa Base Tramo Tolomosa - Pampa Redonda <span style="float: right;"><b>Fecha:</b> 12 /09/2016</span>	
<b>Tesista:</b> Luis Fernando Mendoza Rios <span style="float: right;"><b>Ident. de Muestra:</b> Muestra Abierta</span>	

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	P. Parcial	P. Acumulado
2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	78,0	22,0	22,0	658,8	658,8
3/4"	65,2	34,8	12,8	384,2	1043,0
3/8"	42,4	57,6	22,9	685,8	1728,7
N°4	30,2	69,8	12,2	366,4	2095,1
N°10	23,7	76,3	6,5	195,0	2290,1
N°40	15,9	84,1	7,8	233,0	2523,1
N°200	7,7	92,3	8,2	244,6	2767,7
PASE N° 200	0,0	100,0	7,7	232,3	3000,0
<b>Peso Total</b>				<b>3000,0</b>	
<b>DENSIDAD MAXIMA</b>				<b>2264,1</b>	
<b>HUMEDAD OPTIMA</b>				<b>4,3</b>	
<b>AGREGADO GRUESO</b>				<b>2021,0</b>	
<b>AGREGADO FINO</b>				<b>979,0</b>	
<b>AGUA (mL)</b>				<b>128,0</b>	


*Nota. Fuente: Propia*

  
 Ing. Luis Alberto Vargas  
 Jefe de laboratorio  
 SEDECA - TARIJA

Luis Fernando Mendoza Rios  
 TESISTA UAJMS  
 RU: 62768


### 3.2.5.2 DOSIFICACION CAPA BASE – CERRADA

*Tabla 3.2 Dosificación Capa Base Cerrada*

	<b>SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS</b> <b>D-3</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES</b>
	<b>DOSIFICACION CAPA BASE CERRADA</b>
<b>Proyecto</b> EVALUACION DE LA INFLUNCIA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL EN LOS RIEGOS DE LIGA ENTRE CAPAS MEDIANTE EL METODO LCB	
<b>Procedencia:</b> Material Capa Base Tramo Tolomosa - Pampa Redonda <span style="float: right;"><b>Fecha:</b> 12 /09/2016</span>	
<b>Tesista:</b> Luis Fernando Mendoza Rios <span style="float: right;"><b>Ident. de Muestra:</b> Muestra Cerrada</span>	

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	P. Parcial	P. Acumulado
2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	85,3	14,7	14,7	440,9	440,9
3/4"	72,9	27,1	12,4	373,0	813,8
3/8"	59,7	40,3	13,2	395,0	1208,8
N°4	40,7	59,3	19,0	569,8	1778,6
N°10	33,8	66,2	6,9	206,4	1984,9
N°40	23,0	77,0	10,8	324,0	2308,9
N°200	13,1	86,9	10,0	299,3	2608,2
PASE N° 200	0,0	100,0	13,1	391,8	3000,0
<b>Peso Total</b>				<b>3000,0</b>	
<b>DENSIDAD MAXIMA</b>				<b>2245,1</b>	
<b>HUMEDAD OPTIMA</b>				<b>4,8</b>	
<b>AGREGADO GRUESO</b>				<b>1779,0</b>	
<b>AGREGADO FINO</b>				<b>1221,0</b>	
<b>AGUA (mL)</b>				<b>144,0</b>	


*Nota. Fuente: Propia*

  
 Ing. Luis Alberto Vargas  
 Jefe de laboratorio  
 SEDECA - TARIJA

Luis Fernando Mendoza Rios  
 TESISTA UAJMS  
 RU: 62768


### 3.2.5.3 DOSIFICACION CAPA BASE – DENSA

*Tabla 3.3 Dosificación Capa Base Densa*

	<b>SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS</b> <b>D-3</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES</b>
	<b>DOSIFICACION CAPA BASE DENSA</b>
<b>Proyecto</b> EVALUACION DE LA INFLUNCIA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL EN LOS RIEGOS DE LIGA ENTRE CAPAS MEDIANTE EL METODO LCB	
<b>Procedencia:</b> Material Capa Base Tramo Tolomosa - Pampa Redonda <span style="float: right;"><b>Fecha:</b> 12 /09/2016</span>	
<b>Tesista:</b> Luis Fernando Mendoza Rios <span style="float: right;"><b>Ident. de Muestra:</b> Muestra Densa</span>	

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	P. Parcial	P. Acumulado
2"	100,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0
1"	92,5	7,5	<b>7,5</b>	225,8	225,8
3/4"	81,2	18,8	<b>11,3</b>	338,3	564,1
3/8"	71,5	28,5	<b>9,7</b>	290,4	854,5
N°4	54,2	45,8	<b>17,3</b>	519,9	1374,4
N°10	40,0	60,0	<b>14,1</b>	424,3	1798,7
N°40	30,0	70,0	<b>10,1</b>	302,3	2101,0
N°200	4,5	95,5	<b>25,5</b>	765,4	2866,4
PASE N° 200	0,0	100,0	<b>4,5</b>	133,6	3000,0
<b>Peso Total</b>				<b>3000,0</b>	
<b>DENSIDAD MAXIMA</b>				<b>2221,9</b>	
<b>HUMEDAD OPTIMA</b>				<b>5,8</b>	
<b>AGREGADO GRUESO</b>				<b>1374,0</b>	
<b>AGREGADO FINO</b>				<b>1626,0</b>	
<b>AGUA (mL)</b>				<b>173,0</b>	

*Nota. Fuente: Propia*

  
 Ing. Luis Alberto Vargas  
 Jefe de laboratorio  
 SEDECA - TARIJA

Luis Fernando Mendoza Rios  
 TESISTA UAJMS  
 RU: 62768

### 3.3 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN PARA EL AGREGADO DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

#### 3.3.1 CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

##### 3.3.1.1 GRANULOMERIA

Este método de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas de agregado grueso y de agregado fino empleando tamices de aberturas cuadradas siendo también aplicables al empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares.

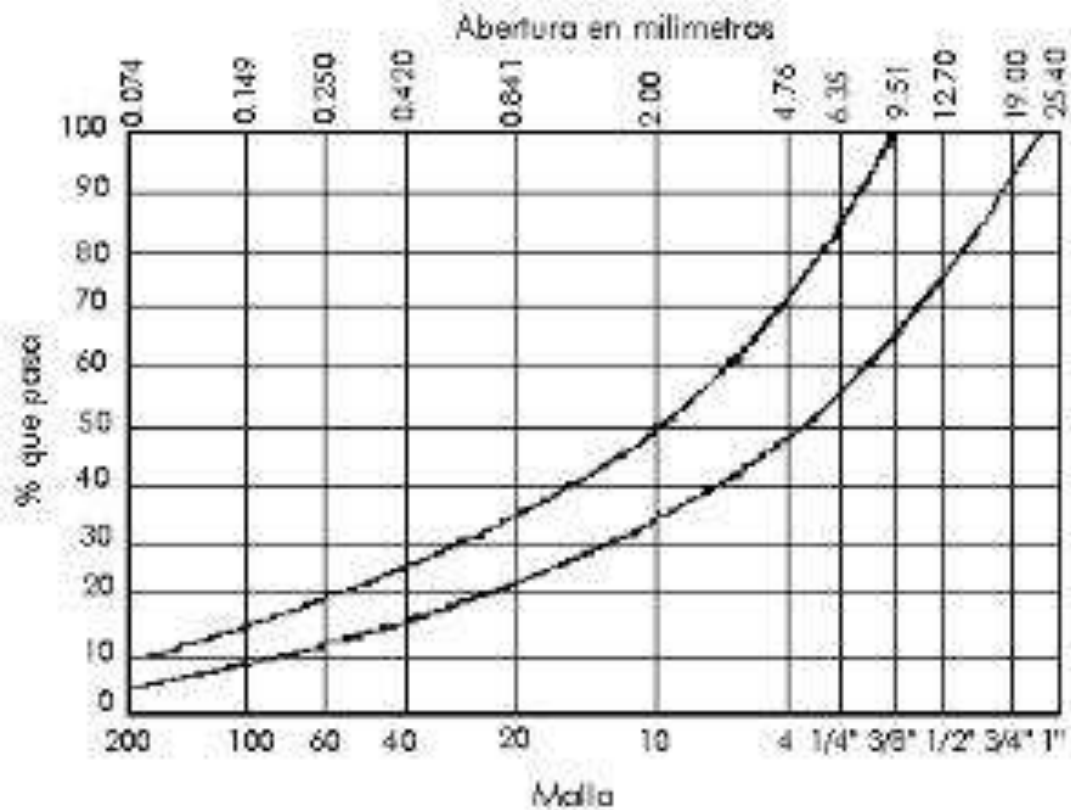
Hay dos métodos para determinar las proporciones relativas de los diversos tamaños de partículas en unos áridos:

**a) Análisis Granulométrico por Vía Seca.-**

Este método consiste en el tamizado por vía seca, el procedimiento es de agitar una cantidad pesada de áridos perfectamente secos sobre una serie de tamices con aberturas cuadradas. Los tamices están unidos e forma que el de mayor abertura está en la parte superior y los de abertura sucesivamente más pequeña están situados debajo. Bajo el último tamiz se coloca una bandeja que recoge todo el material que pasa a través de él. La agitación se aplica generalmente con aparatos automáticos, pero si no se disponen de estos se puede realizar manualmente sin pérdida de áridos.

Se determina el peso de material retenido en cada tamiz y se expresa en porcentaje del peso de la muestra original. Usualmente resulta conveniente anotar estos datos en un gráfico. En estos gráficos se debe indicar el porcentaje total, en peso, que pasa por cada tamiz. Las curvas así obtenidas son un instrumento que da rápidamente ideas de las características granulométricas de los áridos.

*Figura 3.12 Curva Granulométrica*



*Nota. Fuente: Propia*

**b) Análisis Granulométrico por Vía Húmeda.-**

Este método de ensayo da un procedimiento para determinar por vía húmeda la distribución de tamaños de los áridos finos y gruesos.

Este procedimiento es deseable frecuentemente cuando los áridos contienen polvo extremadamente fino o arcilla que pueden pegarse a las partículas más gruesas.

En estos casos los resultados obtenidos del análisis granulométrico por vía seca son evidentemente erróneos.

## **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.13 Juego de Tamices*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.14 Tamizado*



*Nota. Fuente: Propia*

La descripción del ensayo se encuentra en anexos.

### 3.3.1.2 PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS

Usualmente se determina el peso específico de los áridos por dos razones:

1. Para determinar el cálculo de los huecos de las mezclas asfálticas compactadas.
2. Para corregir las cantidades de áridos empleadas en una mezcla para pavimentación cuando su peso específico varía apreciablemente.

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

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

El peso específico de un agregado es el cociente entre el peso de un volumen unitario de material y el peso de igual volumen de agua temperatura ente 20° y 25°C (68 y 77°F).



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

a) **Peso Específico Aparente**

Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada a esa temperatura. El volumen incluye los poros impermeables del material (esto es, la materia sólida, incluyendo sus huecos o poros impermeables).

Considera al volumen del agregado como el volumen total excluyendo el volumen de poros o capilares que pueden llenarse de agua en 24 horas de embebimiento.

b) **Peso Específico Aparente con Agregado Saturado (Efectivo)**

Es la relación entre el peso de un volumen del material seco a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada estando el material en condición de saturado a superficie seca. El volumen incluye los vacíos permeables impermeables del material.

Considera el volumen total del agregado excluyendo al volumen de poros que absorbe el asfalto.

c) **Peso Específico Aparente con Agregado Saturado (Bruto)**

Es la relación entre el peso saturado a superficie seca de un volumen del material a una temperatura dada y el peso de igual volumen de agua destilada.

El volumen incluye los vacíos permeables como los impermeables propios del material (incluyendo tanto los huecos permeables como los impermeables propios del material).

Considera el volumen total de las partículas del agregado, incluyendo los poros que pueden ser llenados con agua en 24 horas de embebimiento.

### **Absorción del Agregado**

Es el volumen de los vacíos permeables del material expresado en por cientos del peso en el aire del mismo secado en estufa.

Como se ve por estas definiciones, la diferencia entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados, indica la proporción de huecos permeables al agua de los áridos. Como el volumen medido para determinar el peso específico aparente con áridos saturados incluye los huecos impermeables, mientras que el volumen para el peso específico aparente excluye los huecos, es evidente que el volumen correspondiente al peso específico aparente es más pequeña que el empleado para el peso específico aparente con áridos saturados, si los áridos tienen huecos permeables. Si no existen tales huecos, ambos volúmenes son iguales.

Como el peso específico es una relación peso – volumen, se deduce que el peso específico aparente es mayor que el peso específico aparente con áridos saturados en áridos que contienen huecos permeables, y que ambos valores son iguales para áridos que no contienen huecos de este tipo. De esta forma, en áridos que contienen huecos permeables, la elección de uno u otro tipo de peso específico puede tener un efecto apreciable sobre la proporción de huecos calculada en una mezcla asfáltica compactada.

El peso específico aparente de los áridos en una mezcla asfáltica depende de la proporción en que el asfalto penetre en los huecos permeables al agua. Como el asfalto es más viscoso que el agua, usualmente penetra en los huecos menos que el agua. Por ellos ha empezado a usarse el término “Peso específico efectivo” para indicar la proporción en que el árido es permeable al asfalto empleado en la mezcla.

Como puede verse, el peso específico efectivo estará normalmente comprendido entre el peso específico aparente y el peso específico aparente con áridos saturados.

### **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.15 Muestra Superficialmente Seca - Agregado Grueso*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.16 Muestra Seca Agregado Seco*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.17 Secado Muestra Para Alcanzar La Condición Superficialmente Seca de Agregado Fino*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.18 Muestra Superficialmente Seca Agregado Fino*



*Nota. Fuente: Propia*

La descripción del ensayo se encuentra en anexos.

### **3.3.1.3 EQUIVALENTE DE ARENA**

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de polvo fino no convenientes o materiales similares a la arcilla, en los pétreos que pasan por el tamiz de 4.75 mm. (Nº4). Por lo tanto el ensayo se aplica a la fracción que pasa por el tamiz número 4.

El contenido de arcilla es el porcentaje de material arcilloso presente en la fracción de agregado menor de 4.75 mm. (Norma AASHTO T-176, finos plásticos en agregados graduados y suelos usando el ensayo del equivalente de arena).

Algunos agregados contienen ciertas sustancias extrañas que lo hacen inadecuado o son perjudiciales para ser empleados en las mezclas asfálticas de pavimentación, a

menos que la cantidad de materiales extraños sea reducida. Las especificaciones para tales agregados normalmente contienen una sección en la cual se indica a cantidad permitida en el agregado. Los materiales típicos objetables son, sustancias orgánicas, esquistos, partículas livianas, terrones de arcilla y arcilla recubriendo las partículas de agregado grueso.

Para la determinación del equivalente de arena, se coloca una muestra de material en estudio en un cilindro graduado transparente que contiene una solución de cloruro cálcico, glicerina y formaldehído en agua. La muestra y la solución se agita vigorosamente de una forma normalizada. Se emplea la misma solución para impulsar el material arcilloso hacia arriba, haciéndolo salir de la muestra a medida que se llena el cilindro, introduciéndola a presión en el fondo mediante un tubo delgado. Después de un periodo de sedimentación de 20 minutos se lee en la graduación del recipiente la altura máxima de la suspensión de la arcilla. A continuación se introduce en el cilindro un disco pesado de metal que lo hace bajar hasta que descansa sobre la parte superior de la arena limpia y se lee la altura de la superficie inferior del disco. Se llama equivalente de arena a la relación de la lectura correspondiente a la superficie superior de la arena a la correspondiente a la capa superior de la arcilla multiplicada por 100.

### **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.19 Muestra Reposando*



*Nota. Fuente: Propia*

La descripción del ensayo se encuentra en anexos.

#### **3.3.1.4 DESGASTE DE LOS ANGELES**

El agregado pétreo está sujeto a una rotura adicional y a un desgaste por abrasión durante la elaboración, colocación y compactación de la mezcla asfáltica para pavimentación. El agregado sufre además la abrasión debido a las cargas del tránsito.

Debe tener por lo tanto, en cierto grado, capacidad de resistir la trituración, degradación y desintegración.

El agregado de la superficie del pavimento o cerca de ella requiere una dureza mayor que el agregado de las capas inferiores donde las cargas resultan disipadas o no son tan concentradas.

El ensayo de abrasión o desgaste de los ángeles mide la resistencia al uso o abrasión del agregado mineral cuando el pavimento es sometido al tráfico vehicular. El porcentaje de desgaste medido por el ensayo de los ángeles no tiene en general ninguna relación con el pulimiento de los áridos bajo el desgaste del tráfico.

El tambor de la máquina de desgaste, el cual es cargado con un peso determinado de partículas de agregado grueso con una graduación prefijada que se asemeja al material propuesto para el diseño en la mezcla asfáltica, así como un peso normalizado de esferas de acero que han de actuar como carga abrasiva. A continuación se hace dar al tambor 500 vueltas, después de lo cual se extrae el material y se determina el porcentaje de material que pasa por el tamiz número 12, que se define como porcentaje de desgaste.

La elevada resistencia al desgaste indicada por un bajo porcentaje de pérdida por la abrasión es una característica deseable de los áridos que han de emplearse en la construcción de pavimentos asfálticos.



### **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.20 Colocado De La Muestra Con Las Esferas En El Equipo*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.21 Secado De La Muestra Del Equipo*



*Nota. Fuente: Propia*

La descripción del ensayo se encuentra en anexos.

### **3.3.1.5 LIMITES DE ATTERBERG**

Cuando una mezcla asfáltica se hace necesario la utilización de un determinado tipo de filler mineral el cual estará compuesto por partículas muy fina de caliza, cal apagada, u otras sustancias minerales, estos no deben tener plasticidad. Cuando se determina que el filler mineral presenta la plasticidad, estos se expanden, provocando actividades

altas, por lo tanto es recomendable que un material utilizado en las mezclas asfálticas sea no plástico (así como la arena).

### **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.22 Analisis de las Muestras en el Equipo Casa grande*



*Nota. Fuente: Propia*

La descripción del ensayo se encuentra en anexos.

## **3.4 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN PARA LAS CEMENTOS ASFALTICOS Y EMULSION ASFALTICA**

### **3.4.1 DUCTIBILIDAD**

Es la distancia a que puede estirarse, sin romperse, una muestra patrón de asfalto a la temperatura de 25 C°, una ductilidad alta es deseable en caminos para que no se agriete la carpeta al presentarse algún desplazamiento.

Objetivo: Determinar si el cemento asfáltico o el residuo de la destilación tienen la ductilidad que marcan las especificaciones.

### **Equipo y material que se utiliza**

- Ductilómetro
- Briquetas
- Placa de cobre o latón
- Crema para la piel
- Estearato de zinc
- Agua
- Alcohol

### **Procedimiento**

1. Se amalgamarán dos piezas laterales removibles del molde de latón para formar la briqueta de prueba y la placa de cobre para evitar que se adhiera el asfalto.
2. Se aplicará una capa crema y encima otra de Estearato de zinc.
3. Se colocará el molde encima de la placa en posición horizontal y se vaciará el asfalto que será previamente fundido a la temperatura mas baja posible, hasta alcanzar un nivel ligeramente mayor que el de enrase
4. Se deja enfriar a temperatura ambiente durante 40 min.
5. Se quitarán las piezas laterales y la placa de cobre e inmediatamente después, se sumerge la briqueta en el aparato de prueba, debiendo quedar el nivel de agua a no menos de 2.5 cm de la cara superior de la briqueta.
6. Se pone en marcha el aparato y se mide la distancia a que se ha desalojado la mordaza hasta que se rompa la briqueta. Esta distancia en centímetros expresa la ductilidad del asfalto.

### REPORTE FOTOGRAFICO

*Figura 3.23 Preparacion de la Muestra*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.24 Muestra Estirándose*



*Nota. Fuente: Propia*

La descripción del ensayo se encuentra en anexos.

### **3.4.2 PUNTO DE INFLAMACION**

Representa la temperatura crítica arriba de la cual deberá tomarse precauciones para eliminar los peligros de incendio durante el calentamiento y manipulación del mismo.

#### **Objetivo**

Determinar la temperatura mínima a la cual se producen flamas instantáneas al someter al cemento asfáltico a un calentamiento gradual.

#### **Equipo y material utilizado**

- Copa abierta de Cleveland
- Termómetro
- Placa de calor
- Producto asfáltico en estudio
- Gas

#### **Procedimiento**

1. Se llena la copa abierta de Cleveland hasta la marca interior con el producto asfáltico, previamente calentado hasta hacerlo fluido, para poderlo vaciar.
2. Con una llama o con la placa de calor especial para esta prueba, se calentará la parte inferior de la copa en tal forma que la temperatura del asfalto suba en una relación aproximada de  $1.5^{\circ}\text{C}$  por minuto.
3. Se agita el asfalto con un termómetro a intervalos durante la prueba para uniformar la temperatura.
4. A intervalos de cada grado centígrado se pasará una pequeña flama de

aproximadamente 4 mm. de diámetro, de forma horizontal por los bordes de la copa y se observa si se producen unas pequeñas chispas. Se anota la temperatura que marca el termómetro cuando esto ocurra, que será el punto de ignición del producto que se ensaya.

### **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.25 Destello de Llama a una Temperatura  $>260^{\circ}\text{C}$*



*Nota. Fuente: Propia*

La descripción del ensayo se encuentra en anexos.

### 3.4.3 PENETRACION

Objetivo: Determinar el grado de dureza del residuo de la destilación de los asfaltos a la dureza del cemento asfáltico original.

#### Equipo y material utilizado

- Equipo de penetración (penetró metro)
- Cápsula de aluminio
- Termómetro
- Baño de agua
- Papel absorbente

#### Procedimiento

1. El residuo de la destilación se vacía en una cápsula hasta llenarla procurando que no quede aire atrapado. Si el asfalto que se va a ensayar es un cemento asfáltico, este se calienta hasta que pueda ser vaciado en la cápsula.
2. Se deja enfriar el espécimen hasta que adquiera la temperatura ambiente y luego se coloca en un baño de agua a una temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  manteniéndolo así el tiempo necesario para que el producto asfáltico adquiera dicha temperatura
3. Se coloca el espécimen bajo el aparato de penetración, se pone la aguja en contacto con la superficie del asfalto y se ajusta la carátula a cero.
4. Se deja caer libremente la aguja durante 5 seg. al cabo de los cuales se medirá en la carátula la distancia penetrada.
5. Se hacen unas 4 penetraciones, teniendo cuidado de limpiar bien la aguja después de cada ensaye y se toma el promedio de dichas penetraciones como el valor correcto. Si una de las lecturas discrepa mucho se desecha para el cálculo del promedio.



6. La penetración se expresa en décimos de milímetros que se denominan grados de penetración.

### **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.26 Muestra en el Penetrometro*



*Nota. Fuente: Propia)*

La descripción del ensayo se encuentra en anexos.

#### **3.4.4 PUNTO DE ABLANDAMIENTO**

El punto de reblandecimiento es la temperatura en la cual el asfalto cambia

repentinamente de sólido a líquido; esto para ayudar a que el asfalto fluya más fácilmente.

### **Objetivo**

Determinar la temperatura a la cual fluye un asfalto hasta cierto grado. Esta prueba permite estimar la consistencia de los cementos asfálticos.

### **Equipo y material que se utiliza**

- Vaso de precipitado
- Termómetro
- 2 Esferas de 9.5 mm. de diámetro y 3.5 grs. de peso.
- 2 Anillos de latón de 15.88 mm. de diámetro interior y de 6.35 mm. de altura.
- Soporte de los anillos, el cual debe tener una ménsula a 2.54 cms. debajo de los anillos.
- Fuente de calor regulable, la cual puede ser un mechero.
- Placa de apoyo, que puede ser de latón o bronce.
- Gas
- Agua a 5 grados centígrados.

### **Procedimiento**

1. Sobre una placa de bronce que haya sido previamente amalgamada, se colocan los anillos, en posición invertida y se llenarán con asfalto, el cual haya sido previamente calentado y se dejará enfriar durante una hora.
2. Se quita el exceso de asfalto con una espátula caliente.
3. Se pueden presentar los siguientes casos:
  - a) Si se trata de asfaltos cuyo punto de fusión es menor de  $80\text{ C}^{\circ}$ , se vaciará en el vaso hasta una altura de 8.25 cm, agua destilada a  $5\text{ C}^{\circ}$ . Se introducen

las esferas de 3/8" y los anillos con sus respectivas guías, en el agua dejándola descansar en el fondo del vaso y se suspenderá el termómetro de manera que el bulto queda a la misma altura que la cara inferior del anillo y a una separación de 6.35 mm. se mantendrá la temperatura del agua a 5 C° durante 15 min. y con unas pinzas adecuadas se tomarán las esferas y se colocaran cuidadosamente en el centro de las guías. Ya colocadas las esfera se elevara la temperatura del agua en una relación de 5 C° por minuto. La temperatura que marque el termómetro en el instante en que el asfalto toque la ménsula, se reportará como Punto de Fusión o deReblandecimiento del asfalto.

- b) Si se trata de asfaltos con punto de fusión mayor de 80 C° se sigue el mismo procedimiento anterior solo que se utilizara glicerina químicamente pura en lugar de agua y la temperatura inicial será de 32 C°. La flama se colocará a la mitad de la distancia comprendida entre el centro del vaso y al pared mas distante de los anillos.

### **REPORTE FOTOGRAFICO**

*Figura 3.27 Muestras en Anillos Previamente Engrasados*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.28 Muestras en su Punto de Ablandamiento*



*Nota. Fuente: Propia)*

La descripción del ensayo se encuentra en anexos.

### **3.4.5 PESO ESPECÍFICO**

Este método cubre la determinación de la gravedad específica de materiales bituminosos semi-sólidos, cementos del asfalto, y los alquitranes suaves por uso de un picnómetro.

#### **Gravedad Específica**

La gravedad específica de materiales bituminosos semi-sólidos, cementos del asfalto, y los alquitranes suaves se expresarán como la relación de la masa de un volumen dado del material a 25°C (77°F) o a 15.6°C (60°F) al que es igual de un volumen de agua a la misma temperatura, y debe expresarse así:

$$\text{Gravedad Específica} = 25/25^{\circ}\text{C} (77/77^{\circ}\text{F}) \text{ o } 15.6/15.6^{\circ}\text{C} (60/60^{\circ}\text{F})$$

#### **Herramientas**

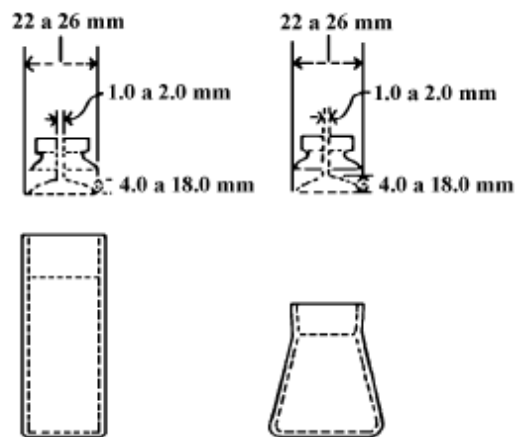
*Picnómetro*, consiste en un vaso cilíndrico o cónico de vidrio cuidadosamente deslustrado para recibir un tapón de vidrio de precisión encaje 22 a 26 mm en diámetro. El tapón debe estar provisto de un agujero 1.0 a 2.0 mm en diámetro, localizado centralmente en referencia al eje vertical. La superficie de la parte superior del tapón será lisa y sustancialmente plana, y la superficie inferior será cóncava para permitir al aire escapar a través del diámetro inferior. La altura de la sección cóncava debe ser de 4.0 a 18.0 mm en el centro. El picnómetro de tapones debe tener una capacidad de 24 a 30 ml, y pesará no más de 40 g. Se ilustran picnómetro convenientemente en Figura.

*Baño de agua*, a temperatura constante, capaz de mantener la temperatura dentro de 0.1°C (0.2°F) de la temperatura del ensayo.

*Termómetros*, de líquidos en vidrio de rango conveniente con graduaciones por lo menos cada 0.1°C (0.2°F) y un error de escala de máximo de 0.1°C (0.2°F) como se prescribe en ASTM Especificación E1. Termómetro normalmente usado es 63°C (63°F). Cualquier otro termómetro de exactitud igual puede usarse.

*Balanza*, una balanza que pase los requisitos de M 231, Clase B.

Figura 3.29 Picnómetros



*Nota. Fuente: Propia*

## **Materiales**

*Agua Destilada* - Agua destilada fresca, hervida y enfriada se usará para llenar el picnómetro y la copa.

### **Preparación Del Equipo**

Parcialmente llene unos 600 ml o a un nivel la copa más grande de forma baja de Griffin con agua destilada fresca, hervida y enfriada de manera que permitirá sumergir la parte superior del picnómetro a una profundidad de no menos de 40 mm.

Parcialmente sumerja la copa en el baño de agua a una profundidad suficiente para permitir sumergir la parte inferior de la copa a una profundidad de no menos de 100 mm, de manera que la parte superior de la copa este por encima el nivel de agua del baño. Sujete la copa en esta posición.

Mantenga la temperatura del baño de agua dentro de 0.1°C (0.2 °F) de la temperatura del ensayo.

### **Calibración Del Picnómetro**

Limpie, seque, y pese completamente el picnómetro al miligramo más cercano. Designe esta masa como A.

Llene el picnómetro de agua destilada fresca y hervida a temperatura de la prueba y ponga el tapón en el picnómetro. No permita que ninguna burbuja de aire permanezca en el picnómetro.

Permita que el picnómetro permanezca en el agua para un periodo de no menos de 30 minutos. Quite el picnómetro, inmediatamente seque la parte superior del tapón con una toalla seca de una sola pasada, entonces rápidamente seque el residuo fuera del área del picnómetro y pesa al miligramo más cercano. Designe la masa del picnómetro más agua como B.

### **Procedimiento**

*Preparación de la Muestra* - Caliente la muestra con cuidado y revuelve para prevenir sobrecalentamiento local, hasta que la muestra se haya puesto suficientemente fluida para verter. En ningún caso, la temperatura debe aumentarse a más de 56°C (100°F)

sobre el punto de ablandamiento esperado para alquitrán, o a más de 111°C (200°F) sobre el punto de ablandamiento esperado para el asfalto. No caliente para más de 30 minutos encima de una llama o el plato caliente o para más de 2 horas en un horno, y evita incorporar burbujas de aire en la muestra.

Vierta suficiente muestra en el picnómetro limpio, seco y calentado para llenarlo cerca tres-cuarto de su capacidad. Tome precauciones para impedir al material de tocar los lados del picnómetro sobre el nivel final, y para prevenir la inclusión de burbujas de aire. Permita que el picnómetro y sus volúmenes se refresquen a temperatura del ambiente para un periodo de no menos de 40 minutos, y pese con el tapón al miligramo más cercano. Designe la masa del picnómetro más la muestra como C.

Llene el picnómetro con agua destilada, fresca y hervida a temperatura del ensayo y ponga el tapón en el picnómetro. No permita que ninguna burbuja de aire permanezca en el picnómetro.

Permita que el picnómetro permanezca en el baño de agua por un periodo de no menos de 30 minutos. Quite el picnómetro del baño. Seque y pese usando la misma técnica y tiempo como eso emplearon. Designe esta masa de picnómetro más la muestra más agua como D.

### **Determinación**

Calcule la gravedad específica al tercer decimal más cercano como sigue:

$$\text{Gravedad Específica} = \frac{C - A}{B - A - D + C}$$

Donde:

A = la masa del picnómetro (más el tapón)

B = la masa del picnómetro lleno con agua

C = la masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto

D = la masa del picnómetro más el asfalto más agua

## **REPORTE FOTOGRAFICO**



*Figura 3.30 Muestra En Baño Maria Para Obtener El Peso Del Picnometro + Asfalto + Agua*




*Nota. Fuente: Propia*

### **3.4.6 DOSIFICACION MARSHALL DE CONTENIDO OPTIMO**

El método Marshall con el contenido óptimo de asfalto y una combinación específica de agregados, se aplica a mezclas asfálticas de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas de pavimentación.

#### **3.4.6.1 CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL 85 – 100**

Tabla 3.4 Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico Convencional 85-100

	<b>SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS</b> <b>D-3</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES</b>
	<b>CEMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL 85-100</b>
<b>Proyecto:</b> EVALUACION DE LA INFLUNCIA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL EN LOS RIEGOS DE LIGA ENTRE CAPAS MEDIANTE EL METODO LCB	
<b>Procedencia:</b> cemento asfáltico convencional de la planta del valle central - SEDECA <b>Fecha:</b> 03/10/2016	
<b>Tesista:</b> Luis Fernando Mendoza Rios <span style="float: right;"><b>Ident. de Muestra:</b> Muestra Unica</span>	

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,8%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,4	0,6	0,6	7,3	7,3
1/2"	80,3	19,7	19,1	215,4	222,7
3/8"	76,8	23,2	3,5	39,0	261,7
Nº4	53,8	46,2	23,1	261,1	522,8
Nº10	38,4	61,6	15,4	173,8	696,6
Nº16	27,9	72,1	10,5	118,9	815,5
Nº40	16,0	84,0	11,9	134,2	949,7
Nº80	9,7	90,3	6,2	70,5	1020,2
Nº200	5,0	95,0	4,8	54,1	1074,3
Filler	0	100,0	5,0	56,1	1130,4
<b>Peso Total</b>				<b>1130,4</b>	

<b>Peso Muestra</b>	<b>1130,4</b>
<b>Peso Asfalto</b>	<b>69,6</b>
<b>Peso Total Material + C. Asf.</b>	<b>1200,0</b>

Nota. Fuente: Propia

**OBSERVACIONES:**

- ✓ 24% Grava 3/4" - Vafercom, 14% Gravilla 3/8" - Vafercom, 14% Gravilla 3/8" - Vafercom, 24% Arena Triturada - Vafercom y 24% Arena Charaja.
- ✓ Para la elaboracion de las briquetas tener mucho en cuenta los pasos que se debe realizar, de a acuerdo a la norma.
- ✓ Pesar 12 muestras con él % de c. a. arriba mencionado.

*Tabla 3.5 Preparación de la Mezcla de Cemento Asfaltico Convencional 85-100*

<b>PREPARACION DE LA MEZCLA</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>%</b>	<b>PESO</b>
GRAVA VAFERCOM	24%	7200
GRAVILLA VAFERCOM	14%	4200
GRAVILLA CHARAJA	14%	4200
ARENA VAFERCOM	24%	7200
ARENA CHARAJA	24%	7200
Peso Total de la Mezcla	=	30000 kg

*Nota. Fuente: Propia*




Luis Alberto Vargas Trigo  
 JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS Y ASE.  
 SEDECA - TARIJA

Ing. Luis Alberto Vargas  
 Jefe de laboratorio  
 SEDECA - TARIJA

Luis Fernando Mendoza Rios  
 TESISTA UAJMS  
 RU: 62768

**3.4.6.2 CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO  
 MODIFICADO 60 – 80**

Tabla 3.6 Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico Modificado 60 - 80

	<b>SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS</b> <b>D-3</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES</b>
	<b>CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO 60 - 80</b>
<b>Proyecto:</b> EVALUACION DE LA INFLUNCIA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL EN LOS RIEGOS DE LIGA ENTRE CAPAS MEDIANTE EL METODO LCB	
<b>Procedencia:</b> cemento asfáltico convencional de la planta del valle central - SEDECA <b>Fecha:</b> 03/10/2016	
<b>Tesista:</b> Luis Fernando Mendoza Rios <span style="float: right;"><b>Ident. de Muestra:</b> Muestra Unica</span>	

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,4	0,6	0,6	7,2	7,2
1/2"	80,3	19,7	19,1	215,0	222,2
3/8"	76,8	23,2	3,5	38,9	261,1
Nº4	53,8	46,2	23,1	260,5	521,7
Nº10	38,4	61,6	15,4	173,4	695,1
Nº16	27,9	72,1	10,5	118,6	813,7
Nº40	16,0	84,0	11,9	133,9	947,7
Nº80	9,7	90,3	6,2	70,4	1018,0
Nº200	5,0	95,0	4,8	54,0	1072,1
Filler	0	100,0	5,0	55,9	1128,0
<b>Peso Total</b>				<b>1128,0</b>	

<b>Peso Muestra</b>	<b>1128,0</b>
<b>Peso Asfalto</b>	<b>72,0</b>
<b>Peso Total Material + C. Asf.</b>	<b>1200,0</b>

Nota. Fuente: Propia


**OBSERVACIONES:**

- ✓ 24% Grava 3/4" - Vafercom, 14% Gravilla 3/8" - Vafercom, 14% Gravilla 3/8" - Vafercom, 24% Arena Triturada - Vafercom y 24% Arena Charaja.
- ✓ Para la elaboracion de las briquetas tener mucho en cuenta los pasos que se debe realizar, de a acuerdo a la norma.
- ✓ Pesar 12 muestras con él % de c. a. arriba mencionado.

*Tabla 3.7 Preparación de la Mezcla de Cemento Asfaltico Modificado 60 - 80*

<b>PREPARACION DE LA MEZCLA</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>%</b>	<b>PESO</b>
GRAVA VAFERCOM	24%	7200
GRAVILLA VAFERCOM	14%	4200
GRAVILLA CHARAJA	14%	4200
ARENA VAFERCOM	24%	7200
ARENA CHARAJA	24%	7200
Peso Total de la Mezcla	=	30000 kg


*Nota. Fuente: Propia*

  
 Ing. Luis Alberto Vargas  
 Jefe de laboratorio  
 SEDECA - TARIJA

Luis Fernando Mendoza Rios  
 TESISTA UAJMS  
 RU: 62768

### 3.4.6.3 CONTENIDO OPTIMO DE EMULSION ASFALTICA IMPRIMAX

Tabla 3.8 Contenido Óptimo de Emulsión Asfáltica Imprimax

	<b>SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS</b> <b>D-3</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES</b>	
	<b>EMULSION ASFALTICA IMPRIMAX</b>	
<b>Proyecto:</b>	<b>EVALUACION DE LA INFLUNCIA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL EN LOS RIEGOS DE LIGA ENTRE CAPAS MEDIANTE EL METODO LCB</b>	
<b>Procedencia:</b>	<b>Emulsion asfáltica IMPRIMAX de VIAS&amp;ASFALTOS</b> <b>CTC (SANTA CRUZ)</b>	<b>Fecha: 03/10/2016</b>
<b>Tesista:</b> Luis Fernando Mendoza Rios	<b>Ident. de Muestra:</b> Muestra Unica	

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	7,5%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1 1/2"	100,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0
1"	100,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0
3/4"	99,4	0,6	<b>0,6</b>	7,1	7,1
1/2"	80,3	19,7	<b>19,1</b>	211,5	218,7
3/8"	76,8	23,2	<b>3,5</b>	38,3	257,0
Nº4	53,8	46,2	<b>23,1</b>	256,4	513,4
Nº10	38,4	61,6	<b>15,4</b>	170,6	684,0
Nº16	27,9	72,1	<b>10,5</b>	116,7	800,7
Nº40	16,0	84,0	<b>11,9</b>	131,8	932,5
Nº80	9,7	90,3	<b>6,2</b>	69,3	1001,8
Nº200	5,0	95,0	<b>4,8</b>	53,2	1054,9
Filler	0	100,0	<b>5,0</b>	55,1	1110,0
<b>Peso Total</b>				<b>1110,0</b>	

<b>Peso Muestra</b>	<b>1110,0</b>
<b>Peso Asfalto</b>	<b>90,0</b>
<b>Peso Total Material + C. Asf.</b>	<b>1200,0</b>

Nota. Fuente: Propia)


**OBSERVACIONES:**

- ✓ 24% Grava 3/4" - Vafercom, 14% Gravilla 3/8" - Vafercom, 14% Gravilla 3/8" - Vafercom, 24% Arena Triturada - Vafercom y 24% Arena Charaja.
- ✓ Para la elaboración de las briquetas tener mucho en cuenta los pasos que se debe realizar, de acuerdo a la norma.
- ✓ Pesar 12 muestras con el % de Emulsión Asfáltica arriba mencionado.

*Tabla 3.9 Preparación de la Mezcla de Emulsión Asfáltica Imprimax*

<b>PREPARACION DE LA MEZCLA</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>%</b>	<b>PESO</b>
GRAVA VAFERCOM	24%	7200
GRAVILLA VAFERCOM	14%	4200
GRAVILLA CHARAJA	14%	4200
ARENA VAFERCOM	24%	7200
ARENA CHARAJA	24%	7200
Peso Total de la Mezcla	=	30000 kg

*Nota. Fuente: Propia*

  
 Ing. Luis Alberto Vargas  
 Jefe de laboratorio  
 SEDECA - TARIJA

Luis Fernando Mendoza Rios  
 TESISISTA UAJMS  
 RU: 62768

### **3.5 ANALISIS DE LA INFLUENCIA QUE TENDRA LA MACROTEXTURA EN LA ADHERENCIA QUE TENDRA ENTRE LA CAPA BASE Y DE RODADURA MEDIANTE UN RIEGO DE LIGA POR EL METODO LCB.**

#### **3.5.1 DESCRIPCION DE LA INVESTIGACION**

Para llegar a conocer y analizar la influencia que tendra la macrotextura superficial de la capa base en la adherencia con respecto a la carpeta de rodadura utilizando un riego de liga con emulsion asfaltica entre capas, analizandolo mediante el ensayo de corte LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona), e realizo el siguiente procedimiento que se describe a continuacion.

Se realizo la fabricacion de probetas de capa base en laboratorio con tres tipos diferentes de granulometrias (Abierta, Cerrada y Densa) creando asi diferentes macrotexturas superficiales, para realizarle un riego de imprimacion con emulsion asfaltica a diferentes tipos de tazas (0,5; 1; 2 L/m<sup>2</sup>), para poder evaluar la penetracion de emulcion y la adherencia que tendra la carpeta asfaltica con respecto a la capa base al momento de echar la capa de rodadura. En la siguiente etapa, se realizo el pesado de las muestra de capa base y su respectiva compactacion en moldes de T – 99.

*Figura 3.31 Pesado De La Dosificacion De Las Diferentes Granulometrias De Capa Base*



*Nota. Fuente: Propia*



*Figura 3.32 Regando La Muestra Con Agua Para Que Alcance Su Humedad Óptima*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.33 Compactado De La Capa Base En Molde T-99 Mediante Tres Capas Cada Una De 25 Golpes*



*Nota. Fuente: Propia*

Una vez compactada todas las muestras de las diferentes dosificación de capa base se tiene que dejar que seque la superficie por lo menos un día para que al momento de realizar el riego de imprimación este pueda penetrar de una manera óptima, caso contrario si se llegara a encontrar la superficie húmeda este no llega a penetrar y el ensayo no tendrá los resultados esperados.

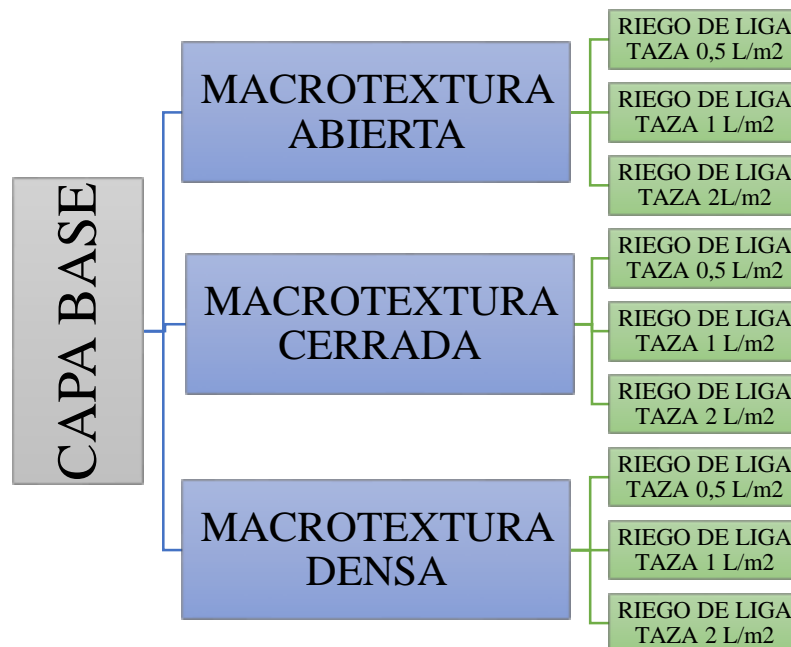
### 3.5.2 RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA

Realizadas las probetas y de su posterior secado de la superficie se procede a hacer el riego de liga con las diferentes tazas (0,5; 1; 2 L/m<sup>2</sup>), las emulsión asfáltica IMPRIMAX utilizada está elaborada para trabajos de riego de Imprimación sobre bases granulares formando una capa impermeabilizante que sirve como ligante para la nueva carpeta asfáltica. Tiene como componente un emulsificantes y una solución jabonosa la cual permite la penetración sobre la superficie a ser tratada.

Las emulsión No requiere ser calentada a altas temperaturas salvo en lugares fríos se calentara la emulsión a 15°C, Puede ser aplicado en cualquier cisterna de agua o de forma manual. Una vez aplicado el riego, se debe esperar 12 horas para aplicar la carpeta asfáltica.

La dotación de riego que se realizo en el presente estudio se especifica en la siguiente gráfica:

*Figura 3.34 Mapa Conceptual De Las Diferentes Dotaciones De Riego Para Cada Tipo De Capa Base*



*Nota. Fuente: Propia*

### 3.5.2.1 CALCULO DE LA CANTIDAD DE LA TASA DE RIEGO CON EMULSION ASFALTICA

La cantidad que se utilizó de emulsión para la tasa de riego para la tasa de 0,5 (L/m<sup>2</sup>) se lo cálculo de la siguiente manera:

$$Area = \pi * radio^2 = \pi * 0,0508^2$$

$$Area = 0,0081073$$

$$Cantidad\ de\ Emulsion = 0,5 * Area = 0,5 * 0,0081073 = 0,004\ litros$$

$$Cantidad\ de\ Emulsion = 4,1\ ml$$

La cantidad que se utilizó de emulsión para la tasa de riego para la tasa de 1 (L/m<sup>2</sup>) se lo cálculo de la siguiente manera:

$$Area = \pi * radio^2 = \pi * 0,0508^2$$

$$Area = 0,0081073$$

$$Cantidad\ de\ Emulsion = 1 * Area = 1 * 0,0081073 = 0,008\ litros$$

$$Cantidad\ de\ Emulsion = 8,11\ ml$$

La cantidad que se utilizó de emulsión para la tasa de riego para la tasa de 2 (L/m<sup>2</sup>) se lo cálculo de la siguiente manera:

$$Area = \pi * radio^2 = \pi * 0,0508^2$$

$$Area = 0,0081073$$

$$Cantidad\ de\ Emulsion = 2 * Area = 2 * 0,0081073 = 0,016\ litros$$

$$Cantidad\ de\ Emulsion = 16,21\ ml$$

*Figura 3.35 Riego De La Emulsion Asfaltica*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.36 Riego De La Emulsion Asfaltica A Diferente Tipo De Tasa De Riego*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.37 Esparcir Uniformemente La Emulsión Sobre Toda La Superficie*



*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.38 Primera Parte De Muestras Regadas De Capa Base Con Diferentes Tasas De Emulsion*



*Nota. Fuente: Propia*

### 3.5.3 METODOLOGIA PARA LA COSTRUCCION DE PROBETAS

Para reproducir el proceso que se utiliza en la construcción de carpeta asfáltica durante la aplicación del riego de liga, se construirán siguiendo principalmente el método indicado por el ensayo de corte LCB con algunas modificaciones en función de los requerimientos del estudio; Utilizando los moldes y equipos de compactación Marshall se seguirán los siguientes pasos mediante un esquema fotográfico:

*Figura 3.39 Esquema Fotografico De La Realizacion De La Probeta Completa*



*Nota. Fuente: Propia*

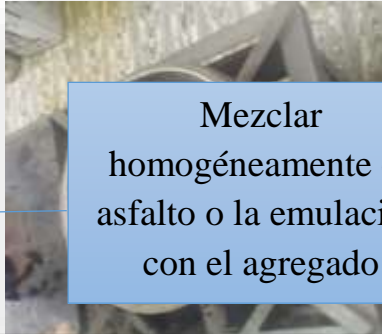


**Calentado del asfalto  
y retirado el toda el  
agua que pueda  
contener**

Pesado de los áridos para la dosificación de las probetas, seguidamente se las lleva en horno para que alcance una temperatura con la que pueda mezclarse con el asfalto.

En las probetas con mezcla en frío ya no se requiere meter la muestra al horno ni calentar la emulación.





Mezclar  
homogéneamente es  
asfalto o la emulación  
con el agregado

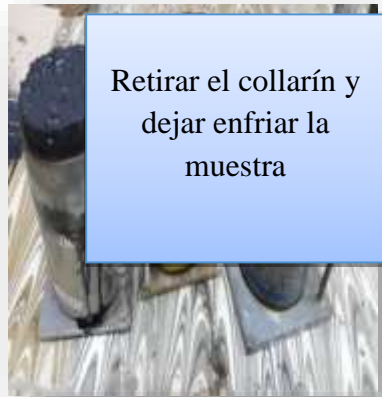


Medicion de la temperature:

- ✓ Para las convencionales a una temperatura de 135°
- ✓ Para las modificadas a 145°
- ✓ Para la emulsión a temperatura







Retirar el collarín y  
dejar enfriar la  
muestra



Realizar el  
desmoldado de la  
probeta



#### **3.5.4 METODOLOGIA DEL ENSAYO DE CORTE LCB (LABORATORIO DE CAMINOS DE BARCELONA)**

El ensayo de corte LCB, fue desarrollado por el Laboratorio de Caminos de Barcelona, y es aplicable a construidas en laboratorio de doble capa de 4 pulgadas de diámetro. Los detalles del ensayo de resumen a continuación:

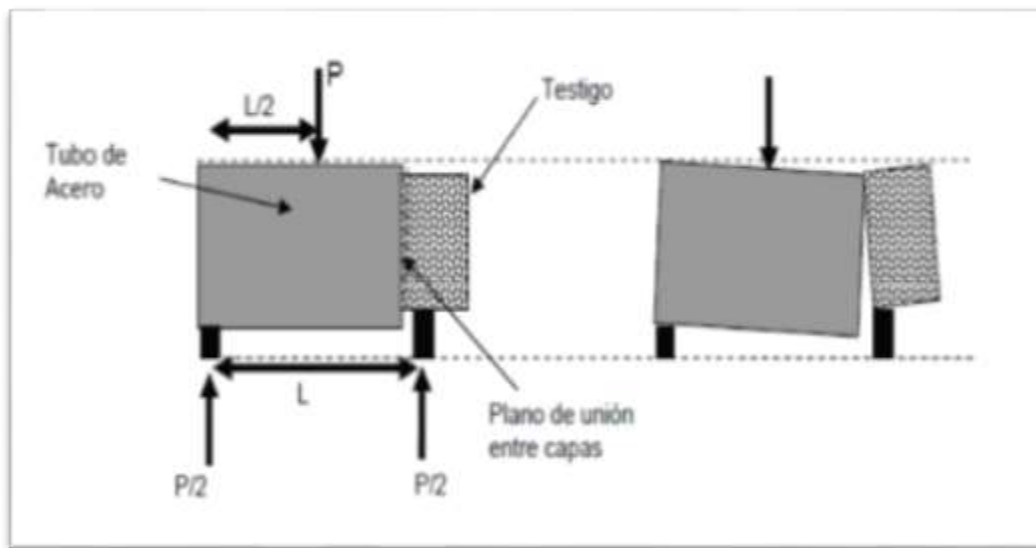
- La velocidad de carga del ensayo es de 1.27 mm/min. (0.05 pulg/min)
- Se registra la carga y deformación cada 10 segundos, hasta la falla.
- El punto de carga debe ser a la mitad de la separación entre los puntos de apoyo.
- El ensayo se puede realizar a una temperatura de 25° C.

- El plano de unión entre capas debe quedar a 5 mm del borde del apoyo y a 5 mm del borde de la mordaza metálica, figura 3.9

Dentro de las ventajas que posee esta metodología de ensayo destaca su fácil implementación, y que debido a la baja velocidad de ensayo permite registrar la carga vs deformación sin necesidad de un equipo de adquisición de datos.

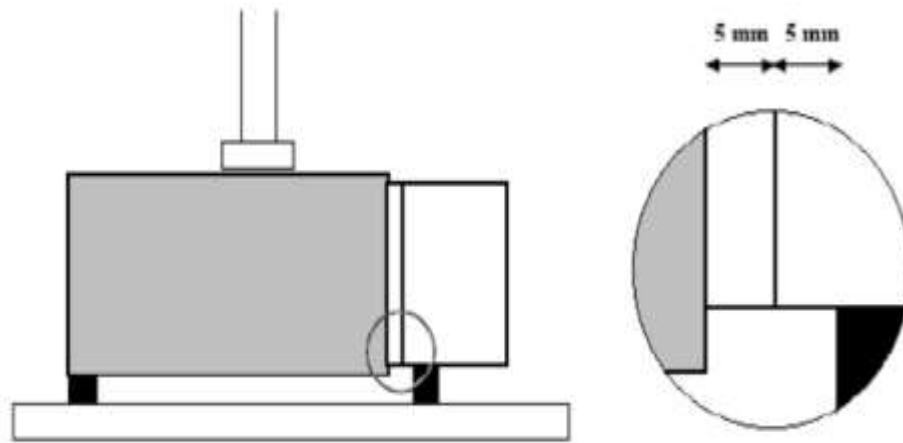
Por otro lado la principal desventaja es que con esta metodología la deformación relativa entre las capas de la unión del testigo o probeta no se puede determinar directamente, pues durante el ensayo se registra la deformación del pistón de la prensa, que en este caso difiere de la deformación relativa entre capas pues ocurre un efecto de pivote durante el ensayo.

*Figura 3.40 Esquema De La Puesta De La Probeta En El Equipo Marshall Y Efecto De La Carga De Rotura E La Emulsion*

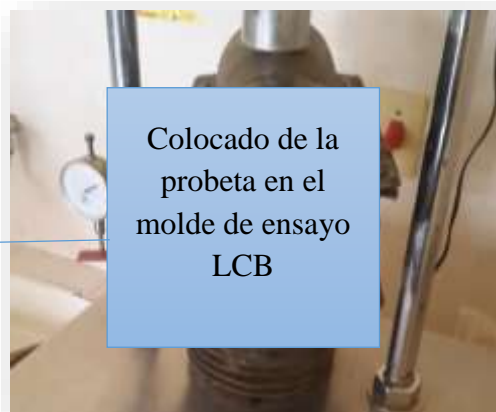


*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.41 Detalle De La Ubicación Del Plano De Unión Entre Capas*



*Nota. Fuente: Propia*



Realización del ensayo LCB en el equipo Marshall según las especificaciones dadas.





Momento de rotura de la unión de las dos capas

Anotación de todos los datos obtenidos y finalización del ensayo



*Figura 3.42 Probeta Despues De Realizado El Ensayo Lcb*



*Nota. Fuente: Propia*

### **3.5.5 CANTIDAD DE PROBETAS A CONSTRUIR**

El rangos de tasas que utilizamos en el estudio es de 0.5 lts/m<sup>2</sup> a 2 lts/m<sup>2</sup> por tanto se tendrían 3tazas de aplicación por ligante.

Se realizará la liga entre dos capas una en capa base y otra de mezcla asfáltica, la capa base está constituida por:

- 1° Una capa base con granulometría abierta.
- 2° Una capa base con granulometría cerrada.
- 3° Una capa base con granulometría densa.

Teniendo un total de combinaciones de 3 Mezclas asfálticas que se utilizaran:

1° Mezcla asfáltica Convencional.

2° Mezcla asfáltica Modificado.

3° Mezcla asfáltica en frio con Emulsión asfáltica.

La cantidad de probetas a construir por cada capa base y tasas de aplicación son 9 muestras.

Numero de Probetas= A x B x C x D

Numero de Probetas= 3 x 3 x 3 x 3 = 81 Probetas a construir y ensayar.

Dónde:

A = Total de probetas a construir.

B = Numero de tasas de aplicación.

C = Numero de combinación de capa base.

D = Numero de mezclas a utilizar.

E = Numero de probetas por ligante.



### 3.5.6 ANÁLISIS DEL ENSAYO DE CORTE LCB (LABORATORIO DE CAMINOS DE BARCELONA)

#### 3.5.6.1 DOTACIÓN DE RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CON TASA DE 0,5 (L/m<sup>2</sup>)

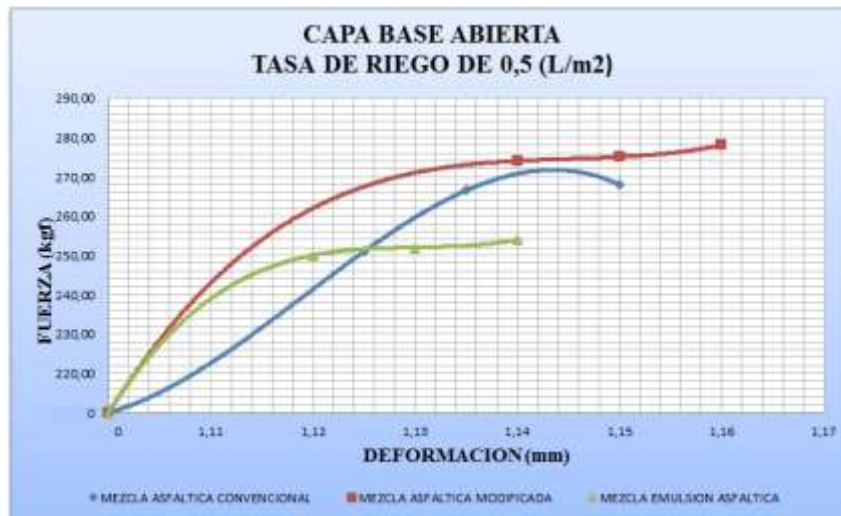
La siguiente tabla es un resumen de los resultados obtenidos, los datos de la práctica se encuentran en las tablas de anexo.

*Tabla 3.10 Dotación De Riego De Liga Con Emulsión Asfáltica Con Tasa De 0,5 (L/m<sup>2</sup>)*

GRANULOMETRIA CAPA BASE	TIPO DE MEZCLA ASFALTICA	VELOCIDAD (mm/min)	TEMPERATURA DE MEZCLA °C	FUERZA (Kg)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (Kgf/cm <sup>2</sup> )	TENSION DE CORTE (MPa)
<b>ABIERTA</b>	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL	1,26	133,67	268,00	1,15	6,61	0,65
	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	1,27	145,00	278,00	1,16	6,86	0,67
	MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	1,26	26,00	254,00	1,14	6,27	0,66
<b>CERRADA</b>	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL	1,27	134,37	290,00	1,22	7,15	0,70
	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	1,28	147,57	299,00	1,25	7,38	0,72
	MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	1,27	26,33	275,00	1,21	6,78	0,67
<b>DENSA</b>	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL	1,26	134,73	250,00	1,05	6,17	0,60
	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	1,27	148,10	258,00	1,08	6,36	0,62
	MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	1,02	27	240,00	1,04	5,92	0,58

*Nota. Fuente: Propia*

Figura 3.43 Grafica Deformacion vs Fuerza Capa Base Abierta Tasa de Riego de 0,5(L/m<sup>2</sup>)



Nota. Fuente: Propia)

Figura 3.44 Grafica Deformacion vs Fuerza Capa Base Cerrada Tasa de Riego de 0,5(L/m<sup>2</sup>)



Nota. Fuente: Propia)

Figura 3.45 Grafica Deformacion vs Fuerza Capa Densa Tasa de Riego de 0,5(L/m<sup>2</sup>)

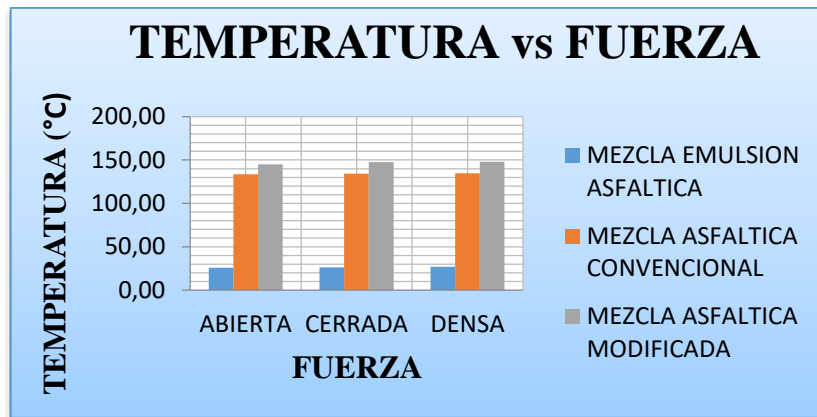


Nota. Fuente: Propia

Las gráficas muestran los valores arrojados del ensayo LCB, con las tres capas base abierta, cerrada y densa con una tasa de riego de 0,5 (L/m<sup>2</sup>). Asimismo se indica la adherencia que se tiene con respecto a cada dosificación de cada mezcla.

La probetas con dosificación de capa base cerrada unida con emulsión a la mezcla de cemento asfáltico modificado fue la más conveniente, ya que con ella se adquirió una mayor adherencia, esto se puede deber a que es una mezcla con polímeros y se necesita una mayor temperatura de compactación y que logra fusionarse mejor con la emulsión regada logrando que trabajen de una manera más monolítica que las otras probetas.

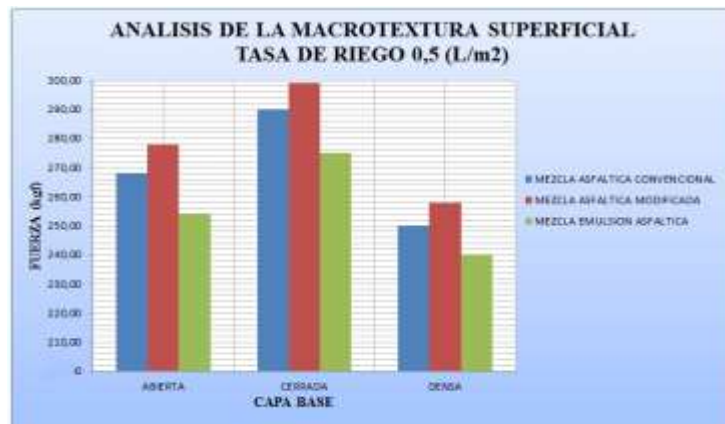
Figura 3.46 Grafica Temperatura vs Fuerza Para una Taza de Riego de 0,5 (L/m<sup>2</sup>)



*Nota. Fuente: Propia*

Como se puede observar en la gráfica las probetas con mayor temperatura son las que se requirieron mayor fuerza de rotura lo que nos indica que tuvieron una mayor adherencia, debido a que se fusionaron de mejor manera con la emulsión.

*Figura 3.47 Grafica Analisis de la Macrotextura Superficial Para una tasa de Riego de 0,5 (L/m<sup>2</sup>)*



*Nota. Fuente: Propia*

Conoce puede apreciar en la gráfica las probetas con capa base de macro textura cerrada tuvieron mejor adherencia que las otras dos probetas de capa base abierta y densa.

### 3.5.6.2 DOTACIÓN DE RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CON TASA DE 1 (L/m<sup>2</sup>)

La siguiente tabla es un resumen de los resultados obtenidos, los datos de la práctica se encuentran en las tablas de anexo.

*Tabla 3.11 Dotación De Riego De Liga Con Emulsión Asfáltica Con Tasa De 1 (L/m<sup>2</sup>)*

GRANULOMETRIA CAPA BASE	TIPO DE MEZCLA ASFALTICA	VELOCIDAD (mm/min)	TEMPERATURA DE MEZCLA °C	FUERZA (Kg)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (Kgf/cm <sup>2</sup> )	TENSION DE CORTE (MPa)
<b>ABIERTA</b>	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL	1,27	134,33	288,90	1,15	7,13	0,70
	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	1,27	145,67	301,00	1,16	7,43	0,73
	MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	1,26	27,00	276,00	1,13	6,81	0,69
<b>CERRADA</b>	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL	1,27	133,33	309,00	1,19	7,62	0,75
	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	1,27	146,33	329,00	1,20	8,12	0,80
	MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	1,27	27,67	287,00	1,17	7,08	0,69
<b>DENSA</b>	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL	1,27	133,00	262,00	0,98	6,46	0,63
	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	1,27	145,00	283,00	1,01	6,98	0,68
	MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	0,94	27,67	252,00	0,95	6,22	0,61

*Nota. Fuente: Propia*

Figura 3.48 Grafica Deformacion vs Fuerza Capa Base Abierta Tasa de Riego de 1(L/m<sup>2</sup>)



Nota. Fuente: Propia

Figura 3.49 Grafica Deformacion vs Fuerza Capa Base Cerrada Tasa de Riego de 1(L/m<sup>2</sup>)



Nota. Fuente: Propia)

Figura 3.50 Grafica Deformacion vs Fuerza Capa Base Densa Tasa de Riego de 1(L/m<sup>2</sup>)

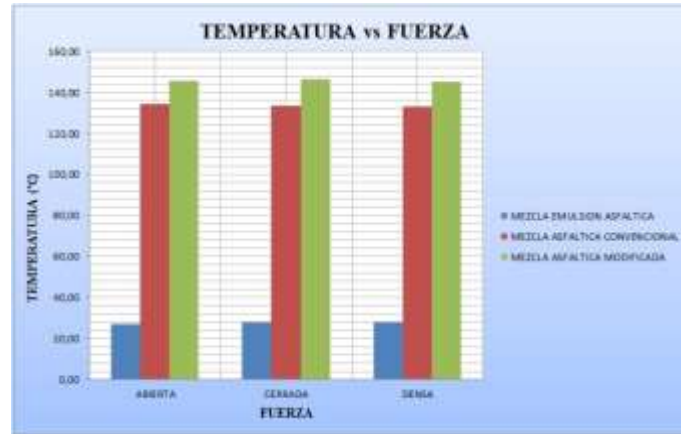


*Nota. Fuente: Propia*

Las gráficas muestran los valores arrojados del ensayo LCB, con las tres capas base abierta, cerrada y densa con una tasa de riego de 1 (L/m<sup>2</sup>). Asimismo se indica la adherencia que se tiene con respecto a cada dosificación de cada mezcla. La probetas con dosificación de capa base cerrada unida con emulsión a la mezcla de cemento asfáltico modificado fue la más conveniente, ya que con ella se adquirió una mayor adherencia, esto se puede deber a que es una mezcla con polímeros y se necesita una mayor temperatura de compactación y que logra fusionarse mejor con la emulsión regada logrando que trabajen de una manera más monolítica que las otras probetas.

Las probetas con un riego de 1(L/m<sup>2</sup>) mostraron mayor adherencia con respecto a la de riego de 0,5(L/m<sup>2</sup>), esto puede deberse a que la cantidad de emulsión logro penetrar de una manera efectiva saturando los espacios vacíos de la macro textura y permitiendo que al momento de realizar la compactación de la mezcla se logre una mayor fusión logrando que trabaje de una forma monolíticamente con respecto a las otras tasas de riego.

Figura 3.51 Grafica Temperatura vs Fuerza Para una Taza de Riego de 1 (L/m<sup>2</sup>)



Nota. Fuente: Propia

Como se puede observar en la gráfica las probetas con mayor temperatura son las que se requirieron mayor fuerza de rotura lo que nos indica que tuvieron una mayor adherencia, debido a que se fusionaron de mejor manera con la emulsión.

Figura 3.52 Grafica Analisis de la Macrotextura Superficial Para una tasa de Riego de 1 (L/m<sup>2</sup>)



Nota. Fuente: Propia)

Como se puede apreciar en la gráfica las probetas con capa base de macro textura cerrada tuvieron mejor adherencia que las otras dos probetas de capa base abierta y densa.



### 3.5.6.3 DOTACIÓN DE RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA CON TASA DE 2 (L/m<sup>2</sup>)

La siguiente tabla es un resumen de los resultados obtenidos, los datos de la práctica se encuentran en las tablas de anexo.

*Tabla 3.12 Dotación De Riego De Liga Con Emulsión Asfáltica Con Tasa De 2 (L/m<sup>2</sup>)*

GRANULOMETRIA CAPA BASE	TIPO DE MEZCLA ASFALTICA	VELOCIDAD (mm/min)	TEMPERATURA DE MEZCLA °C	FUERZA (Kg)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (Kgf/cm <sup>2</sup> )	TENSION DE CORTE (MPa)
<b>ABIERTA</b>	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL	1,26	133,67	279,00	1,16	6,88	0,67
	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	1,27	145,00	291,00	1,19	7,18	0,70
	MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	1,26	26,00	268,00	1,17	6,61	0,68
<b>CERRADA</b>	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL	1,27	134,37	302,00	1,22	7,45	0,73
	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	1,28	147,57	310,00	1,23	7,65	0,75
	MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	1,27	26,33	294,30	1,19	7,26	0,71
<b>DENSA</b>	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL	1,26	134,73	261,00	1,08	6,44	0,63
	MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA	1,27	148,10	270,00	1,09	6,66	0,65
	MEZCLA ASFALTICA EN FRIO	1,06	27	251,00	1,07	6,19	0,61

*Nota. Fuente: Propia*

Figura 3.53 Grafica Deformacion vs Fuerza Capa Base Abierta Tasa de Riego de 2(L/m<sup>2</sup>)



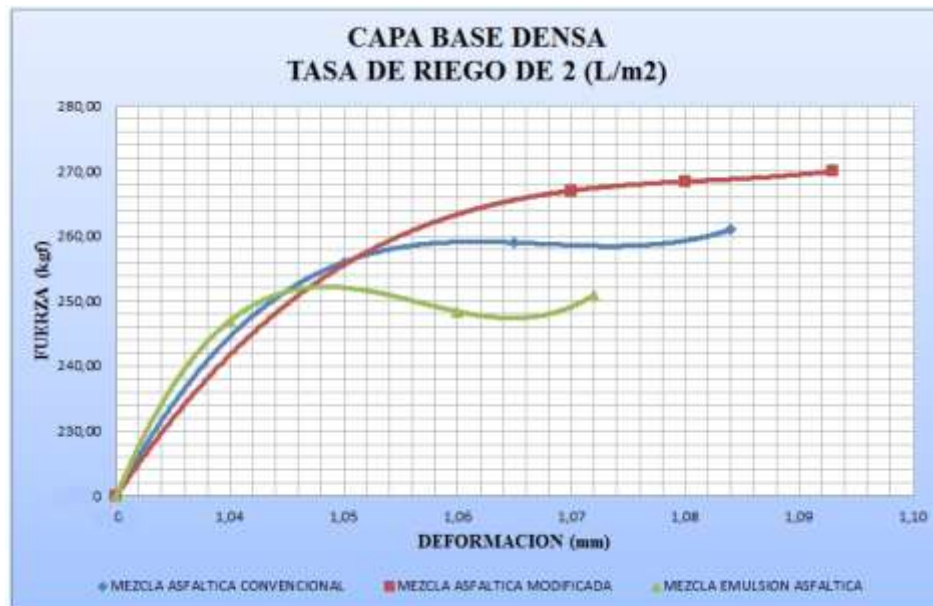
Nota. Fuente: Propia

Figura 3.54 Grafica Deformacion vs Fuerza Capa Base Cerrada Tasa de Riego de 2(L/m<sup>2</sup>)



Nota. Fuente: Propia

Figura 3.55 Grafica Deformacion vs Fuerza Capa Base Densa Tasa de Riego de 2(L/m<sup>2</sup>)



Nota. Fuente: Propia

Las gráficas muestran los valores arrojados del ensayo LCB, con las tres capas base abierta, cerrada y densa con una tasa de riego de 2 (L/m<sup>2</sup>). Asimismo se indica la adherencia que se tiene con respecto a cada dosificación de cada mezcla. La probetas con dosificación de capa base cerrada unida con emulsión a la mezcla de cemento asfáltico modificado fue la más conveniente, ya que con ella se adquirió una mayor adherencia, esto se puede deber a que es una mezcla con polímeros y se necesita una mayor temperatura de compactación y que logra fusionarse mejor con la emulsión regada logrando que trabajen de una manera más monolítica que las otras probetas.

Las probetas con un riego de 2 (L/m<sup>2</sup>) mostraron menor adherencia con respecto a la de riego de 1 (L/m<sup>2</sup>), esto puede deberse a que ser demasiada emulsión satura la macro textura y sobra demasiada en la superficie ocasionando una falla al momento de hacer la compactación de la mezcla evitando que se trabaje de una mejor manera monolítica.

### 3.5.7 PENETRACIÓN DEL RIEGO DE LIGA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA EN LAS DIFERENTES CAPAS BASE

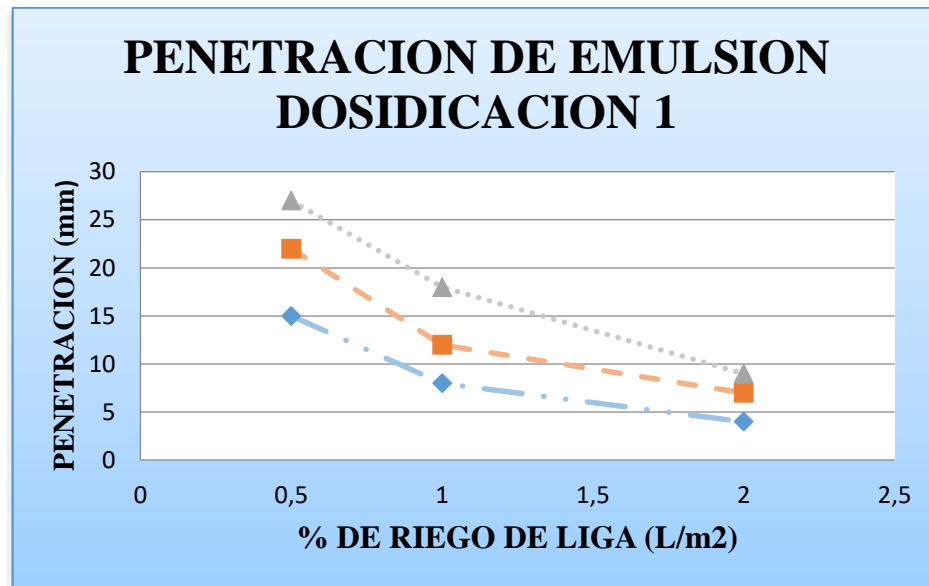
La siguiente tabla es un resumen de los resultados obtenidos, los datos de la práctica se encuentran en las tablas de anexo.

*Tabla 3.13 Penetración Del Riego De Liga Con Emulsión Asfáltica En Las Diferentes Capas Base*

TIPO DE MEZCLA ASFÁLTICA	DOSIFICACION DE EMULSION (L/m <sup>2</sup> )	PENETRACION (mm)
0,5	ABIERTA	15,53
	CERRADA	8,47
	DENSA	3,93
1	ABIERTA	22,53
	CERRADA	12,67
	DENSA	7,22
2	ABIERTA	26,57
	CERRADA	18,03
	DENSA	8,73

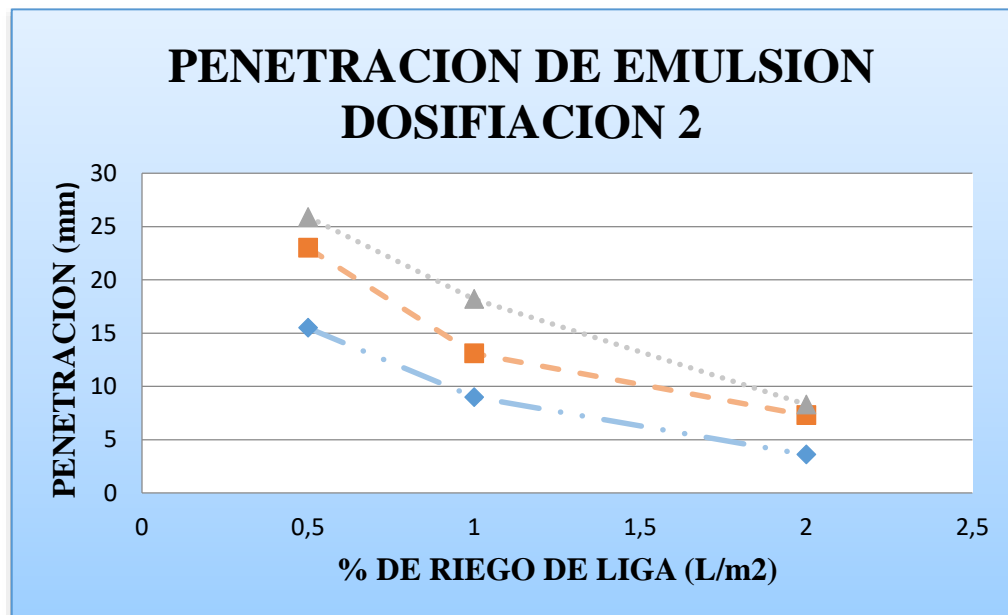
*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.56 Grafica Penetracion de Emulsion Dosificacion 1*



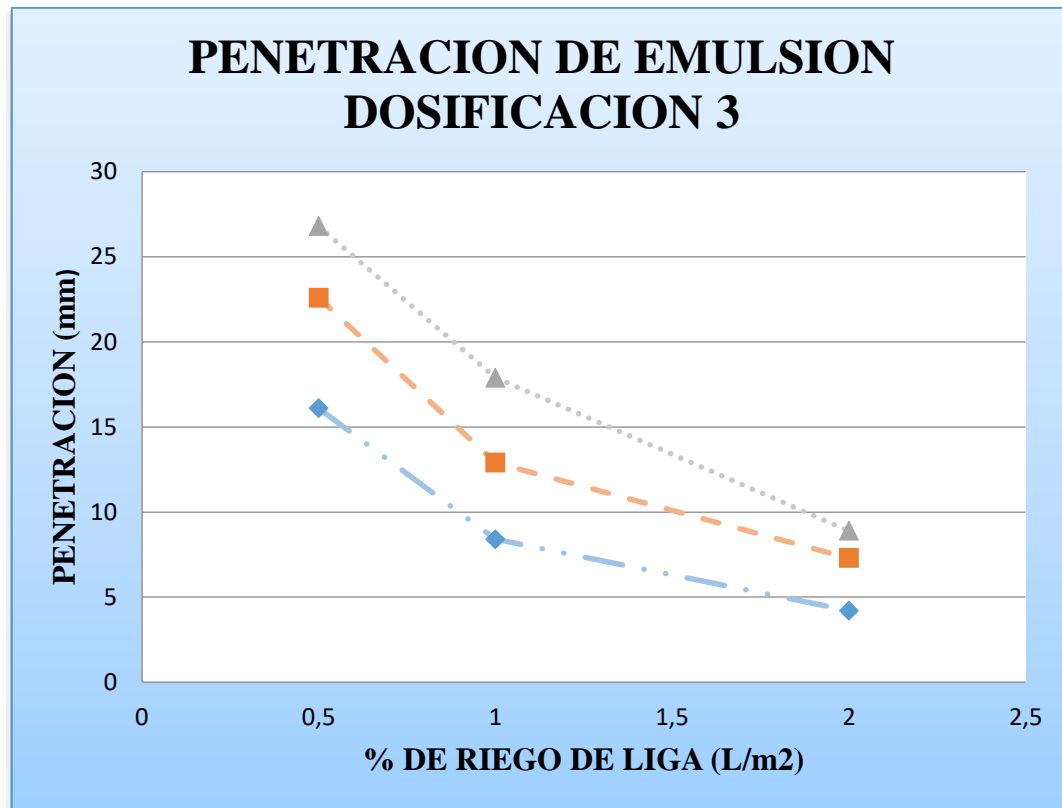
*Nota. Fuente: Propia*

*Figura 3.57 Grafica Penetracion de Emulsion Dosificacion 2*



*Nota. Fuente: Propia*

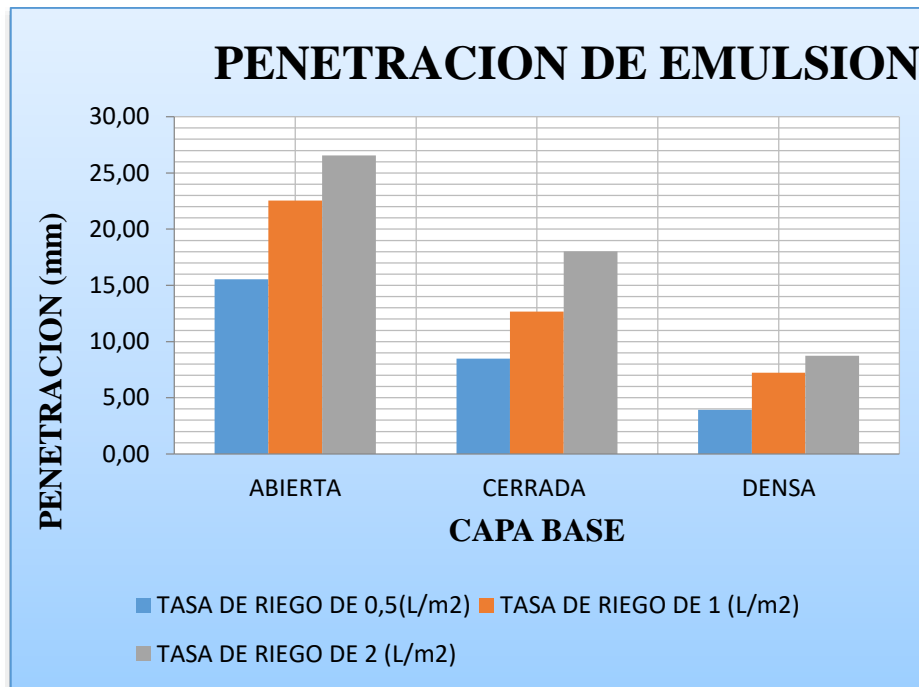
*Figura 3.58 Grafica Penetracion de Emulsion Dosificacion 3*



*Nota. Fuente: Propia*

Las presentes graficas muestran la penetración que tubo los diferentes tipos de riego en las capas base (abierta, cerrada y densa).

Figura 3.59 Grafica Penetracion de Emulsion de las Diferentes Capaz



*Nota. Fuente: Propia*

La grafica es una comparación de cómo fue la penetración del riego de emulsión en las diferentes capas mostrando que la capa base abierta tubo mayor penetración que a diferencia de la cerrada y la densa.

### **3.5.8 ANALISIS ESTADISTICO DE VARIANZA PARA DISEÑO DE EXPERIMENTOS ANOVA MULTIFACTORIAL - FUERZA (DEFORMACIÓN)**

Variable dependiente: Fuerza (Kgf)

Factores:

- Macro Textura
- Riego de liga ((L/m<sup>2</sup>))
- Mezcla Asfáltica

Selección de la Variable: Deformación

Número de casos completos: 81

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para Fuerza. Realiza varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Fuerza. También evalúa la significancia de las interacciones entre los factores, si es que hay suficientes datos. Las pruebas-F en la tabla ANOVA le permitirán identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuales medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones le ayudarán a interpretar los efectos significativos. Las Gráficas de Residuos le ayudarán a juzgar si los datos han violado los supuestos subyacentes al análisis de varianza.

El análisis estadístico completo se encuentra en ANEXO 7.



### 3.5.9 ANALISIS DEL NUMERO DE MUESTRA

Para analizar si nuestro número de muestra es representativo en el estudio utilizaremos la teoría de **“LOS TEOREMAS DE NÚMEROS GRANDES”**

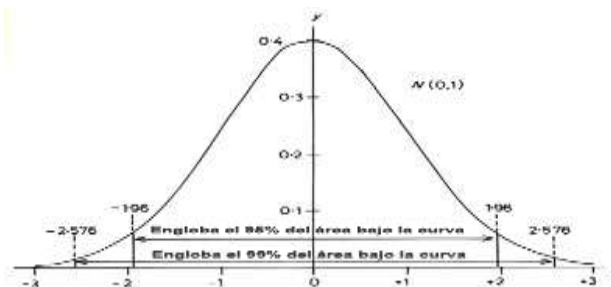
Estos teoremas son los que dan soporte matemático a la idea de que el promedio de una muestra al azar de una población de gran tamaño tenderá a estar cerca de la media de la población completa.

El teorema que utilizaremos será el de **“Teorema Del Límite Central”** demuestra que, en condiciones muy generales, la suma de muchas variables aleatorias independientes se aproxima bien a una distribución normal (también llamada [campana de Gauss](#)).

Gracias al teorema del límite central, cuando calculamos una media o una proporción sobre una muestra, podemos saber cuál es la probabilidad de que el universo tenga ese mismo valor o un valor parecido. El valor que calculemos en la muestra será el más probable para nuestro universo y a medida que nos alejamos de este valor (por arriba o por abajo) cada vez serán valores menos probables.

La forma en que disminuye la probabilidad a medida que me alejo de la media corresponde a una distribución gaussiana. Podemos fijar un intervalo alrededor del valor más probable, de manera que englobemos el 95% de la probabilidad (nivel de confianza). La distancia a la que me tengo que alejar del valor más probable para englobar este 95% determina el margen de error.

*Figura 3.60 Campana de Gauss*



*Nota. Fuente: Los Teoremas De Numeros Grandes*

El teorema del Límite central nos da la Siguiete Formula:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{(N-1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}$$

Dónde:

n: Es el tamaño de muestra que queremos calcular.

N: Tamaño del Universo de cálculo.

Z: Es la desviación del valor medio que aceptamos para lograr el nivel de confianza deseado. En función del nivel de confianza que busquemos, usaremos un valor determinado que viene dado por la forma que tiene la distribución de Gauss. Los valores más frecuentes son:

Tabla 3.14 Tabla del Nivel de Confianza

Nivel de Confianza 90%	Z=1,645
Nivel de Confianza 95%	Z=1,96
Nivel de Confianza 99%	Z=2,575

Nota. Fuente: Los Teoremas De Números Grandes

e: Es el margen de error máximo admitido que viene a ser del 5% según el teorema del Limite Central.

$\sigma^2$ : Es la varianza que esperamos encontrar en la población (es el cuadrado de la desviación estándar,  $\sigma$ ). Nuevamente, es un dato que debemos obtener de un estudio previo o de una estimación propia.

$$n = \frac{N * Z^2 * \sigma^2}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * \sigma^2} = \frac{(81 * 1.96^2 * 26.74^2)}{(81 - 1) * (0.05)^2 + (1.96)^2 * (26.74)^2}$$

$$n = 80,9938 \approx 81 \text{ muestras}$$

Debido que es decisión de cada persona asumir el grado de confiabilidad nosotros optamos por el de  $Z=1,96$  (95% de confiabilidad).

Como podemos observar nuestro número de muestra se aproxima a nuestro número real de muestras por lo que podemos decir que tenemos una gran confiabilidad en los resultados que obtendremos con esta cantidad de muestras para el estudio

### **3.5.10 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION**

El Trabajo de investigación muestra a continuación los resultados de la evaluación de adherencia para cada una de las capas base y las tasa de riego con emulsión asfáltica que se emplea como material de liga entre las capas de pavimento.

Se obtuvo el valor máximo para cada caso y finalmente se revisó la adherencia en cada ensayo. Se utilizaron una serie de evaluaciones para aceptar el resultado:

- Primero las probetas al momento de ser evaluadas con el ensayo se encontraron a temperatura ambiente (25oC y 40oC).
- Luego se evaluó la curva de ensayo de corte.
- Se analizó que tanta adherencia existe en cada una de las capas base con sus respectivas dosificaciones y tasas de riego (0,5, 1 y 2 lts/m<sup>2</sup>) y si cumple con las hipótesis mencionadas.
- Se analizó la penetración que tubo las diferentes tasas de riego con respecto a la capa base para determinar si la macro textura cumple con las hipótesis planteadas.

Igualmente se obtuvieron gráficas donde se pudo apreciar el comportamiento de cada uno de las mezclas asfálticas con respecto a la adherencia, lo que brinda un análisis más completo para poder seleccionar el tipo de macro textura, dotación y mezcla asfáltica adecuada de acuerdo a la hipótesis que se determinó. También se realizó el análisis de que a mayor o menor susceptibilidad térmica de las mezclas al momento de su compactación hizo que se obtuviera mayor o menor adherencia entre capas.

A continuación se presenta unas tablas de estado donde se muestra la adherencia y penetración del acondicionamiento de cierta dosificación y tasa de riego ya mencionada para cada emulsión.

Tabla 3.15 Adherencia y Penetración Tasa de Riego 0,5 (L/m<sup>2</sup>)

TASA DE RIEGO 0,5 (L/m <sup>2</sup> )										
CAPA BASE	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL			MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL			MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL			PENETRACION (mm)
	FUERZA (Kgf)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (MPa)	FUERZA (Kgf)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (MPa)	FUERZA (Kgf)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (MPa)	
MACROTEXTURA ABIERTA	268,00	1,15	0,65	278,00	1,16	0,67	290,00	1,22	0,70	15,53
MACROTEXTURA CERRADA	290,00	1,22	0,70	299,00	1,25	0,72	275,00	1,21	0,67	8,47
MACROTEXTURA DENSA	250,00	1,05	0,60	258,00	1,08	0,62	240,00	1,04	0,58	3,93

Nota. Fuente: Propia

Tabla 3.16 Adherencia y Penetración Tasa de Riego 1 (L/m<sup>2</sup>)

TASA DE RIEGO 1 (L/m<sup>2</sup>)

CAPA BASE	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL			MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL			MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL			PENETRACION (mm)
	FUERZA (Kgf)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (MPa)	FUERZA (Kgf)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (MPa)	FUERZA (Kgf)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (MPa)	
MACROTEXTURA ABIERTA	288,90	1,15	0,70	301,00	1,16	0,73	276,00	1,13	0,69	22,53
MACROTEXTURA CERRADA	309,00	1,19	0,75	329,00	1,20	0,80	287,00	1,17	0,69	12,67
MACROTEXTURA DENSA	262,00	0,98	0,63	283,00	1,01	0,68	252,00	0,95	0,61	7,22

*Nota. Fuente: Propia*

*Tabla 3.17 Adherencia y Penetración Tasa de Riego 2 (L/m<sup>2</sup>)*

TASA DE RIEGO 2 (L/m <sup>2</sup> )										
CAPA BASE	MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL			MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL			MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL			PENETRACION (mm)
	FUERZA (Kgf)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (MPa)	FUERZA (Kgf)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (MPa)	FUERZA (Kgf)	DEFORMACION (mm)	TENSION DE CORTE (MPa)	
MACROTEXTURA ABIERTA	279,00	1,16	0,67	291,00	1,19	0,70	268,00	1,17	0,68	26,57
MACROTEXTURA CERRADA	302,00	1,22	0,73	310,00	1,23	0,75	294,30	1,19	0,71	18,03
MACROTEXTURA DENSA	261,00	1,08	0,63	270,00	1,09	0,65	251,00	1,07	0,61	8,73

*Nota. Fuente: Propia*

Se puede observar que la probeta con mayor adherencia fueron las que tuvieron una capa cerrada con un riego de tasa de 1 (L/m<sup>2</sup>) y una mezcla asfáltica modificada, esto se debió a que la macro textura de la capa cerrada posee menor cantidad de vacíos con respecto a la mezcla abierta y el riego de emulsión se penetra de una manera más óptima quedando en la superficie una cantidad que con la compactación de la mezcla asfáltica modificada trabajó de una manera monolítica mejor que con las demás probetas.

También se evidenció que las mezclas asfálticas modificadas trabajaron mejor debido a que estas son modificadas con polímeros que la vuelven más pegajosa y necesitan una mayor temperatura de compactación con lo que se logra que se fusione de mejor manera con el riego lo que hace que tenga una mayor adherencia.



## CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Se realizó con éxito el ensayo LCB determinación de adherencia entre diferentes macro texturas de capa base y para diferentes dosificación de tasa de riego.
- Se diseñaron la capa base con macro textura Abierta su análisis adherencia para las tasas de riego de 0,5 (L/m<sup>2</sup>) fue de una tensión de 0,67 (Mpa), para la de 1 (L/m<sup>2</sup>) la mayor tensión fue 0,63 (Mpa), la tasa de riego de 2 (L/m<sup>2</sup>) la tensión fue de 0,70 (Mpa) todas estas logradas con la mezcla asfáltica Modificada esto debido a que presenta polímeros para una mayor adherencia.
- Se diseñaron la capa base con macro textura Cerrada su análisis adherencia para las tasas de riego de 0,5 (L/m<sup>2</sup>) fue de una tensión de 0,72 (Mpa), para la de 1 (L/m<sup>2</sup>) la mayor tensión fue 0,8 (Mpa), la tasa de riego de 2 (L/m<sup>2</sup>) la tensión fue de 0,65 (Mpa) todas estas logradas con la mezcla asfáltica Modificada esto debido a que presenta polímeros para una mayor adherencia.
- Se diseñaron la capa base con macro textura Densa su análisis adherencia para las tasas de riego de 0,5 (L/m<sup>2</sup>) fue de una tensión de 0,62 (Mpa), para la de 1 (L/m<sup>2</sup>) la mayor tensión fue 0,68 (Mpa), la tasa de riego de 2 (L/m<sup>2</sup>) la tensión fue de 0,65 (Mpa) todas estas logradas con la mezcla asfáltica Modificada esto debido a que presenta polímeros para una mayor adherencia, pero siendo la mezcla densa la de menores valores de adherencia.

- La macro textura influye en los riegos para la adherencia entre capas porque a superficies cerradas con macro texturas con menos porosidad (capa abierta) y no tanto fino (Capa densa) obtienen valores de fuerza de rotura 329 Kgf y una deformación de 1,20 mm, generando una tensión de corte de 8,12 (Kgf/cm<sup>2</sup>) equivalente a 0,8 (Mpa) que es superior a los valores obtenidos con cualquier otra probeta de estudio.
- La macro texturas con las tensiones de corte más bajas de estudio son las de capa base Densa siendo su mayor valor de 0,69 (Mpa).
- La rugosidad de la capa inferior incrementa al corte de unión, debido a que la emulsión penetra de una forma óptima y se trabaja de una forma más monolítica.
- La dotación adecuada de riego de imprimación con emulsión asfáltica se encuentra entre 1 (L/m<sup>2</sup>) y 2 (L/m<sup>2</sup>) para que actúe correctamente ya que con estos se obtuvieron los mayores valores de fuerza de tensión de corte de 0,8(Mpa) y 0,68 (Mpa) siendo superior a la tasa de riego de 0,59 (L/m<sup>2</sup>).
- La extensión de la capa asfáltica debe realizarse cuando la emulsión hay tenido un tiempo de penetración, en el caso de la emulsión utilizada fue de 12 horas según especificaciones técnicas del producto.
- La superficie de la capa base debe estar completamente limpia, y sin presencia de agua o humedad al momento del riego para que la emulsión pueda penetrar.
- La Mezcla asfáltica modificada obtuvo mayores valores de adherencia porque estas mezclas están modificadas con polímeros lo que las hace más cohesivas logrando tensiones de corte entre 0,8 (Mpa) y 0,68 (Mpa).

- El tipo de textura de la mezcla asfáltica tiene también influencia en los resultados de resistencia, pero en menor medida.
- La temperatura influye en cierta medida en la adherencia de la mezcla asfáltica a la capa base en el momento de compactación, debido a que mezclas asfálticas modificadas con temperatura de compactación de 145°C tuvieron mayores valores de tensión de corte que van desde 0,72 (Mpa) a 0,80 (mpa), siendo las mezclas en frío con temperaturas de compactación de ambiente de una media de 25°C obtuvo valores entre 0,61 (Mpa) a 0,69 (Mpa).
- Para temperaturas mayores de compactación de las mezclas asfálticas se obtuvieron resultados mayores de adherencia.
- El mayor rango de penetración del riego de liga con emulsión asfáltica fue en macro texturas abiertas porque la macro textura de esta capa posee mayor cantidad de espacios vacíos, siendo sus resultados:
  - Para una dotación de riego de 0,5 (L/m<sup>2</sup>) la mayor penetración de 15,53 mm
  - Para una dotación de riego de 1 (L/m<sup>2</sup>) la mayor penetración de 22,53 mm
  - Para una dotación de riego de 2 (L/m<sup>2</sup>) la mayor penetración de 22,57 mm
- La penetración tiene importancia en la adherencia de la carpeta influyendo mucho la tasa de riego de liga que se va a efectuar debido a que las penetraciones mayores no implican que va a tener una mayor adherencia, siendo el caso de la penetración de 12,67 mm siendo en la macrotextura cerrada con una tasa de riego de 1 (L/m<sup>2</sup>).

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener en cuenta la temperatura ambiente en el momento del ensayo debido a que esta puede hacer variar los valores de la adherencia si se ejecutaran en temperaturas extremas que superen los 38°C.
- Se recomienda estudiar de cerca la adherencia entre capas pero ahora con diferentes tipos de emulsiones y mezclas asfálticas para ampliar nuestro conocimiento del tema.
- Se recomienda tener en cuenta en las mediciones para la dotación de riego debido a que si se echara en mayor o menor cantidad a la adecuada para cada ensayo podrían generar valores erróneos y una mala interpretación del análisis.
- Se recomienda en las mezclas asfálticas en frío esperar un tiempo adecuado según especificaciones que existan para el endurecimiento de la mezcla después de la compactación, debido a que estas podrían desprenderse con facilidad si no se encuentran bien consolidadas y hacer variar el análisis.
- Se recomienda tener mucho cuidado al utilizar los equipos para realizar la caracterización de los cementos asfálticos debido al alto costo de estos.
- Se recomienda que al trabajar con mezclas asfálticas a altas temperaturas se utilice el equipo necesario de seguridad para su manipulación (Guantes de cuero, gafas de seguridad, ropa adecuada de preferencia overol y mascarillas tipo barbijo) para evitar accidentes o inhalaciones de gases.
- Es importante dar mantenimiento a la prensa Marshall para obtener valores correctos.

- En caso de una quemadura con asfalto, aplicar agua o hielo inmediatamente, no remover el asfalto de la piel y tampoco cubrir con una venda, recurrir inmediatamente a primeros auxilios para la atención de un médico.