

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1 INTRODUCCIÓN

La adherencia entre carpetas asfálticas, es la acción o efecto de unión por el cual dos carpetas se mantienen unidas cuando entran en contacto a través del uso de un riego de liga.

La adherencia entre una superficie existente y la pavimentación asfáltica nueva que actuara como capa superior juega un rol fundamental en la vida útil del pavimento, demostrando que bajos niveles de adherencia repercuten indefectiblemente en grietas prematuras o una disminución significativa en su periodo de vida útil del pavimento, que podría prevenirse asegurando la calidad de los materiales, así como con una correcta fase constructiva que garantice una adherencia adecuada y un buen desempeño de las estructuras.

La ingeniería enfrenta permanentemente el reto de mantener y desarrollar estructuras de pavimento con recursos económicos limitados. Las especificaciones tradicionales de diseño y construcción establecen la necesidad de grandes cantidades de materiales de alta calidad para garantizar la durabilidad y desempeño de las estructuras, aunque no hay disponibilidad suficiente de tales materiales. Ante este panorama la ingeniería ha recurrido a alternativas de diseño que consideren; una dosis apropiada de riego de adherencia, buena calidad de materiales, una correcta fase constructiva de la carpeta nueva que asegure un mejor comportamiento; así como prácticas de diseño innovadoras para verificar la calidad final conseguida en la adherencia de las carpetas asfálticas que es lo que en realidad se debería medir.

Por lo que se propone en el presente trabajo evaluar la adherencia entre carpetas asfálticas cumpliendo condiciones necesarias que incrementen esta propiedad, a través del ensayo de corte LCB metodología propuesta por la Universidad de Cataluña, España, del Laboratorio de Caminos de Barcelona. (LCB), cuyo proceso permite

determinar el esfuerzo cortante necesario para separar dos carpetas asfálticas, utilizado como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas; que se alcanzará mediante la rotura de probetas fabricadas en laboratorio; haciendo que la evaluación de la adherencia entre una carpeta asfáltica existente y una carpeta nueva tomen protagonismo en la sociedad, como una necesidad que evite grietas prematuras, propagación de fisuras y disminución significativa de fallas o deterioros del espécimen nuevo para comodidad del usuario.

DISEÑO TEÓRICO

1.2 DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.

1.2.1 Determinación de la línea de estudio. Argumentos

La evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas juega un importante rol en el desempeño y durabilidad de pavimentos, por lo cual para asegurar la adherencia primeramente se procede a analizar la superficie o carpeta asfáltica existente, es decir, cómo fue construido, su tiempo o periodo de vida útil, que disminuyeron la comodidad del usuario, su estado a simple inspección y a través de una evaluación y ensayos de laboratorio de dicha carpeta asfáltica existente.

Consiguiendo de esta manera neutralizar la propagación de fisuras presentes mediante la construcción de una carpeta asfáltica nueva que actuará como capa superior, que deberá cumplir con ciertas condiciones a través de su diseño y pruebas de laboratorio para demostrar que bajos niveles de adherencia repercuten en el periodo de vida útil de un pavimento. Obteniendo así resultados óptimos de aplicación donde se evidencie que la adherencia entre carpetas asfálticas juega un rol fundamental en la vida útil de un pavimento.

1.2.2 Breve descripción de causales identificados

Para identificar las causales se siguió la siguiente técnica en función de responder las preguntas realizadas primeramente sobre el tópico elegido, como ser:

- ✓ ¿Qué es la evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas?
- ✓ ¿Qué componentes tiene la evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas?

- ✓ ¿Para qué sirve la evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas?
- ✓ ¿Cumple siempre el para qué sirve la evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas?
- ✓ ¿Qué elementos afectan a la evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas?

Donde se debe observar cada componente y pensar en alguna deficiencia que este pudiera tener, formular y escribir afirmaciones negativas de cada una de las ideas que se imagina, mostradas a continuación:

Causales ubicadas en respuestas a preguntas definidas

- ✓ Existe muy poco conocimiento sobre la evaluación de los factores que influyen en la resistencia de la adherencia entre carpetas asfálticas.
- ✓ No existen criterios unificados en cuanto a la mejor forma de proporcionar una buena adherencia entre carpetas asfálticas.
- ✓ No hay buena calidad de los materiales empleados en la carpeta nueva que logren una buena adherencia con la superficie vieja deteriorada.
- ✓ Hay niveles bajos de adherencia que disminuyen significativamente en la vida útil de las carpetas asfálticas.
- ✓ Hay mala evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas.

Y una vez elegidos los causales se debe tratar de resumirlos en una descripción general es decir una situación problemática preliminar.

1.2.3 Identificación del objeto de estudio

A continuación se siguieron los siguientes pasos concretos para la identificación del objeto de estudio:

- ❖ *Causales ubicadas en respuestas a preguntas definidas*
- ❖ Configuración de las causales utilizando en NO
- ✓ No existe mucho conocimiento sobre la evaluación de los factores que influyen en la resistencia de la adherencia entre carpetas asfálticas.
- ✓ No existen criterios unificados en cuanto a la mejor forma de proporcionar una buena adherencia entre carpetas asfálticas.

- ✓ No hay buena calidad de los materiales empleados en la carpeta nueva que logren una buena adherencia con la superficie vieja deteriorada.
- ✓ No hay niveles bajos de adherencia que disminuyen significativamente en la vida útil de las carpetas asfálticas.
- ✓ No hay buena evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas.
 - ❖ *Selección de causales*
 - ❖ *Causales seleccionados*
- ✓ No existe mucho conocimiento sobre la evaluación de los factores que influyen en la resistencia de la adherencia entre capas de unas carpetas asfálticas.
- ✓ No existen criterios unificados en cuanto a la mejor forma de proporcionar una buena adherencia entre carpetas asfálticas.
- ✓ No hay buena evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas.
 - ❖ Configuración de cambio del NO por el SI
 1. Si existe mucho conocimiento sobre la evaluación de los factores que influyen en la resistencia de la adherencia entre carpetas asfálticas.
 2. Si existen criterios unificados en cuanto a la mejor forma de proporcionar una buena adherencia entre carpetas asfálticas.
 3. Si hay buena evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas.

*Aplicación de la conexión de la simple implicación *si p entonces q**

P	1	1	2	3	2	3
Q	2	3	1	1	3	2
Sentido	V	V	V	V	V	V

Fuente: Elaboración propia

Donde la proposición que tuvo más verdaderos fue seleccionada como el **objeto de estudio es decir:**

“Adherencia entre carpetas asfálticas”

1.2.4 Determinación de la perspectiva de solución.

La perspectiva es una disciplina de la cual se centraliza y direcciona la investigación donde planteamos que es lo que queremos hacer a lo que se suma la idea a la cual daremos una perspectiva.

❖ Idea

Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas.

❖ Perspectiva

Evaluar

- ❖ La adherencia entre carpetas asfálticas para el análisis estructural entre una superficie o carpeta existente que ya presente deterioros que estén disminuyendo la vida de servicio de la estructura; evaluando como fue construido y su estado a simple inspección o con ensayos de laboratorio y su necesidad de ponerle una nueva carpeta con otras características y otros materiales logrando una buena adherencia con resultados óptimos de aplicación.
- ❖ La capacidad de adherencia a partir de un estudio de repavimentación entre una carpeta asfáltica existente y una carpeta asfáltica nueva de tal manera que se evalué el comportamiento del pavimento en conjunto a través de técnicas experimentales de unión entre carpetas asfálticas.
- ❖ El comportamiento de la resistencia a la adherencia entre las carpetas asfálticas de tal forma que esta capa se comporte como una estructura monolítica evitando su desprendimiento.

1.3 SITUACIÓN PROBLÉMICA

Diversas investigaciones han evidenciado que la adherencia entre una carpeta o superficie existente y la pavimentación asfáltica nueva juega un rol fundamental en la vida útil del pavimento, demostrando que bajos niveles de adherencia repercuten indefectiblemente en grietas prematuras o una disminución significativa en la vida útil entre las carpetas asfálticas.

En el sistema multicapas, los movimientos relativos entre las capas componentes son un origen importante de fisuras. Se asume que éstas se comportan de manera monolítica, aunque esto no ocurre en la realidad. La falta de adherencia entre carpetas asfálticas ocasiona problemas como fisuras y desplazamientos entre capas de manera temprana que se pueden prevenir asegurando la calidad de los materiales así como una correcta fase constructiva.

Actualmente no se encuentra normado un ensayo para evaluar la adherencia entre carpetas asfálticas. Por lo cual surge la necesidad de desarrollar esta investigación donde se pretende evaluar la adherencia entre una carpeta asfáltica deteriorada y una carpeta asfáltica nueva, empleando el ensayo de corte directo LCB regido por la norma española NLT-328/0 que permite determinar el esfuerzo cortante necesario para separar las dos capas, como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas.

1.4 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede conocer la calidad de adherencia entre carpetas asfálticas cuando entre ellas se coloca una dosis de riego de liga?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Realizar un estudio evaluativo previo para poder determinar la calidad de adherencia entre carpetas asfálticas, aplicando técnicas experimentales en laboratorio que permitan el control de calidad adherencia entre carpetas asfálticas.

1.5.2 Objetivos específicos

- ❖ Describir los tipos de fallas que presenta la carpeta asfáltica existente que actuará como capa inferior, ubicada en la calle Colón de la ciudad de Tarija, en su parte funcional y estructural.
- ❖ Realizar estudios previos del riego de liga y caracterización de los materiales de la carpeta asfáltica nueva que funcionará como capa superior, cuya función principal es disminuir la propagación de fisuras.
- ❖ Analizar cuál es el desempeño del riego de liga como intercapa en pavimentos fisurados y cuál es la dosis de imprimación adecuada para su aplicación.
- ❖ Determinar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico a través del método Marshall que tendrá la carpeta asfáltica nueva.
- ❖ Investigar sobre tipos de adherencia entre carpetas asfálticas.
- ❖ Evaluar la calidad de adherencia entre carpetas asfálticas mediante pruebas de laboratorio a través del ensayo de corte LCD.
- ❖ Analizar los resultados obtenidos.

1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

1.6.1 Hipótesis

Si a un pavimento flexible existente deteriorado se incorpora una nueva capa de mezcla asfáltica colocando una dosis de riego de liga como intercapa, entonces se produce cierto grado de adherencia que se puede conocer a través de una evaluación que nos permita tener un control de calidad de la adherencia del pavimento en conjunto.

1.6.2 Identificación de variables

Variable independiente (X)

Estado de la superficie

Mezcla adherente

Variable dependiente ((Y)

Calidad de adherencia (resistencia al corte)

Resistencia de la mezcla adherida (estabilidad)

Deformación de la mezcla adherida (fluencia)

1.6.3 Conceptualización y operacionalidad de las variables

TABLA 1. 1 Conceptualización y operacionalidad de variables

<u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u>	<u>CONCEPTUALIZACIÓN</u>	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADOR</u>	<u>ACCIÓN</u>
Estado de la superficie	Se refiere al estado que puede tener una carpeta asfáltica recapada si tuviera una buena calidad de materiales y una correcta fase constructiva sin problemas de fisuras o desplazamiento entre carpetas.	Carpeta asfáltica deteriorada	Experimentales	20% laboratorio
			Teóricos	80% teórico
		Carpeta asfáltica nueva	Experimentales	100% laboratorio
		Espécimen nuevo	Experimentales	100% laboratorio
		Calidad de adherencia	Evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas	100% laboratorio y a simple inspección

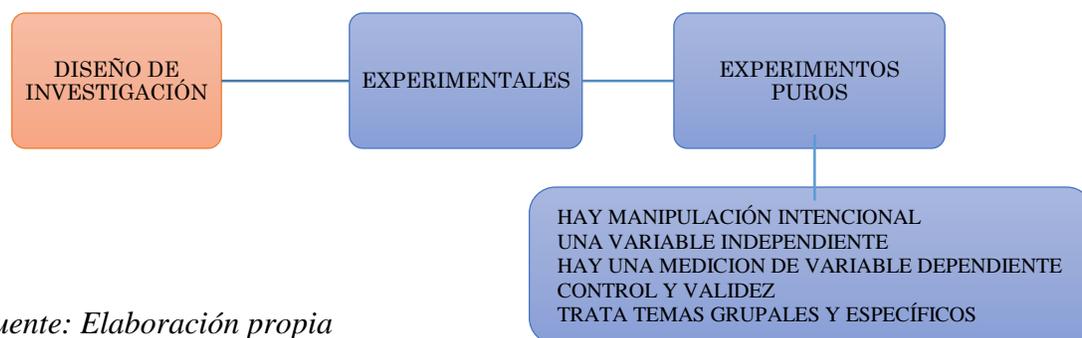
<u>VARIABLE DEPENDIENTE</u>	<u>CONCEPTUALIZACIÓN</u>	<u>DIMENSIONES</u>	<u>INDICADOR</u>	<u>ACCIÓN</u>
Adherencia entre carpetas asfálticas	Es la acción o efecto de unión entre dos carpetas asfálticas las cuales entran en contacto y actúan en conjunto en un recapamiento.	adherencia	Ensayo de corte LCD como parámetro para evaluar la adherencia entre carpetas asfálticas	100% laboratorio

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

FIGURA 1. 1 Tipo de diseño de investigación



Fuente: Elaboración propia

1.8 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRABLE POR VARIABLE

1.8.1 Unidad de estudio

Carpetas asfálticas.

1.8.2 Población

Carpetas con diferentes rugosidades

1.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1.9.1 Nivel de confianza

TABLA 1. 2 Nivel de confianza

nivel de confianza %	valor del nivel de confianza Z
50	0.574
80	1.280
85	1.444
90	1.640
95	1.960
99	2.680

Fuente: Elaboración propia

1.9.2 Tamaño y muestra

$$n = \frac{N * p * q}{\left(N * \frac{e^2}{z^2}\right) + \frac{1}{N} * N * p * q} = 91$$

❖ Para el infinito desconocido

$$Z = 1.96; N.C = 95\%; P = 0.5; q = 0.5; e = 0.05; N = 120$$

por lo tanto

$$n = 91 \text{ tamaños de muestra}$$

❖ Para el finito conocido

$$N = \text{Tamaño de la muestra} = n$$

$$G^2 = \text{Varianza}$$

TABLA 1. 3 Calculo de muestra estratificada

<i>ensayos</i>	<i>Cantidad</i>	<i>pi</i>	<i>qi</i>	<i>pi*qi</i>	<i>Ni*pi*qi</i>	<i>Wi</i>	<i>ni</i>
<i>extracción de núcleos</i>	30	0,5	0,5	0,25	7,5	0,250	18
<i>centrifugo</i>	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,008	1
<i>granulometría agregado existente</i>	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,008	1
<i>Granulometría agregado nuevo</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>equivalente de arena</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>desgaste de los ángeles</i>	1	0,5	0,5	0,25	0,25	0,008	1
<i>peso unitario de la arena</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>peso unitario de la gravilla</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>peso unitario de la grava</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>peso específico de la arena</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>peso específico de la gravilla</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>peso específico de la grava</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>penetración</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>punto de inflamación</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>ductilidad</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>punto de ablandamiento</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>peso especifico</i>	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0,025	2
<i>método Marshall</i>	18	0,5	0,5	0,25	4,5	0,150	11
<i>ensayo al corte LCD</i>	30	0,5	0,5	0,25	7,5	0,250	18
<i>Suma</i>	120		0	0	30	1,000	91

Fuente: Elaboración propia

Resultados de cantidad de ensayos

TABLA 1. 4 Resultados de muestra estratificada

<i>Ensayo</i>	<i>cantidad</i>
<i>extracción de núcleos</i>	23
<i>centrifugo</i>	1
<i>granulometría agregado existente</i>	1
<i>Granulometría agregado nuevo</i>	2
<i>equivalente de arena</i>	2
<i>desgaste de los ángeles</i>	1
<i>peso unitario de la arena</i>	2
<i>peso unitario de la gravilla</i>	2
<i>peso unitario de la grava</i>	2
<i>peso específico de la arena</i>	2
<i>peso específico de la gravilla</i>	2
<i>peso específico de la grava</i>	2
<i>penetración</i>	2
<i>punto de inflamación</i>	2
<i>ductilidad</i>	2
<i>punto de ablandamiento</i>	2
<i>peso especifico</i>	2
<i>método Marshall</i>	14
<i>ensayo al corte LCD</i>	23
<i>Suma</i>	91

Fuente: Elaboración propia

1.9.3 Selección de las técnicas de muestreo

Técnica de muestreo estratificada

1.9.4 Justificación de factibilidad recursos insumos y medios utilizados

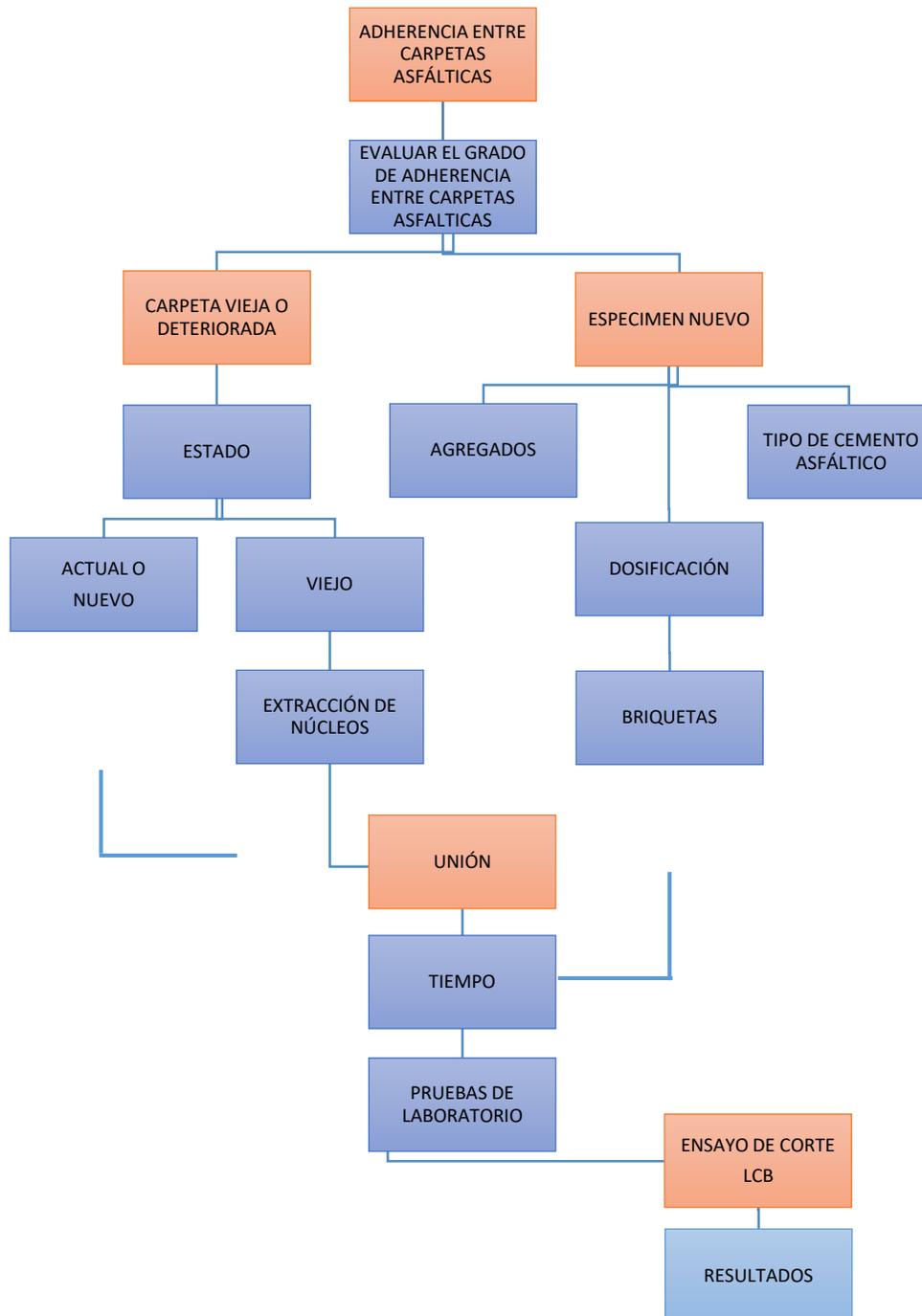
La evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas depende de varios tipos de ensayo que si son factibles dentro del laboratorio de suelos y pueden realizarse ya que se cuenta con los medios necesarios

1.10 MÉTODO Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS

1.10.1 Listado de actividades a realizar

Inspección de carpeta asfáltica deteriorada
Extracción de núcleos
Evaluación de la carpeta deteriorada
❖ Caracterización de los agregados
Granulometría
Equivalente de arena
Densidad relativa
❖ Caracterización del cemento Asfáltico
Penetración
Punto de inflamación
Ductilidad
Viscosidad
❖ Método Marshall
Preparación de las muestras de ensayo
Determinación del contenido de asfalto
❖ Mezclas asfálticas
Cantidades de componentes
❖ Evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas
Preparación de los especímenes de prueba
Condiciones de ensayo
Ejecución del ensayo de corte
❖ Análisis de resultados

1.10.2 Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva



1.10.3 Productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva

Los productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva sobre la evaluación de la adherencia entre una carpeta asfáltica existente deteriorada y una carpeta asfáltica nueva son proceder primeramente a una evaluación del estado actual de la carpeta deteriorada a través de una extracción de núcleos y a una caracterización de los agregados y cemento asfáltico para una dosificación y construcción de briquetas para a continuación realizar la unión de ambas carpetas asfálticas con el uso de un riego de liga, las cuales serán sometidos a pruebas de laboratorio a través del ensayo de corte LCB metodología propuesta por la Universidad de Cataluña, España, del Laboratorio de Caminos de Barcelona (LCB), para determinar el esfuerzo cortante necesario para separar ambas carpetas asfálticas, como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas.

1.10.4 Resultados esperados

Los resultados esperados al evaluar el grado de adherencia entre dos carpetas asfálticas son determinar el esfuerzo cortante necesario para separar dos carpetas asfálticas mediante **el ensayo de corte LCB** como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas, mediante la rotura de probetas fabricadas en laboratorio asegurando la calidad de los materiales, así como con una correcta fase constructiva que garantice una adherencia adecuada y un buen desempeño de las estructuras.

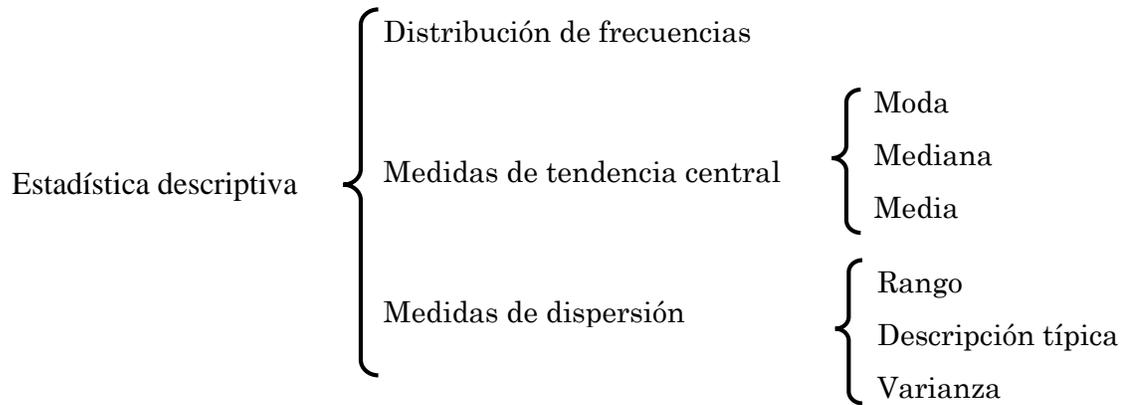
Cuyo resultado óptimo será aquel que nos dé el valor más alto de esfuerzo de resistencia al corte, haciendo que la evaluación de la adherencia entre una carpeta deteriorada y una carpeta nueva tomen protagonismo en la sociedad, como una necesidad que evite grietas prematuras o una disminución significativa de fallas o deterioros en la vida útil del pavimento.

1.11 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

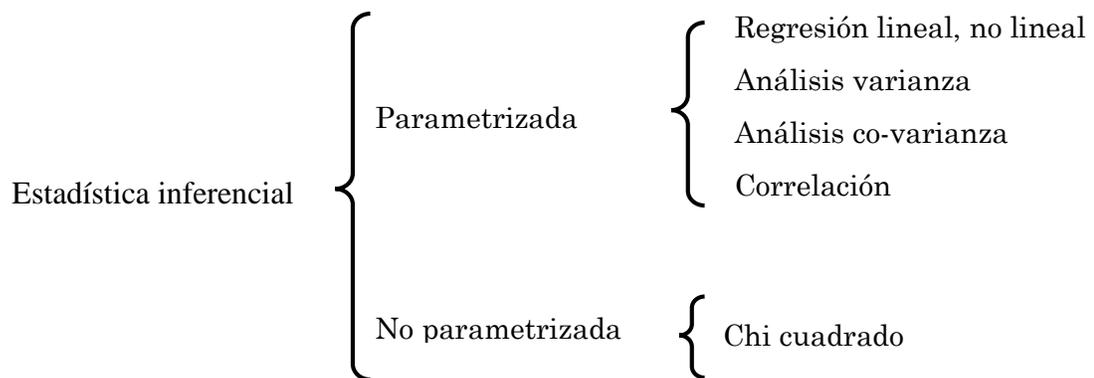
1.11.1 Selección de programas a utilizar

- ❖ Minitab
- ❖ STATS

1.11.2 Estadística descriptiva



1.11.3 Estadística inferencial seleccionada para comprobar la hipótesis formulada



CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA ENTRE CARPETAS ASFÁLTICAS

3.1 INTRODUCCIÓN

Las obras de pavimentación se diseñan para una determinada vida útil. La vida útil de un pavimento o un pavimento reparado dependerá en gran medida de la calidad del proyecto, la calidad de la construcción y el tipo de mantenimiento, además de factores tales como: tráfico, clima y sistemas de drenaje.

En la mayoría de las situaciones, cuando un pavimento comienza a mostrar fallas, estas fallas pueden multiplicarse y progresar rápidamente. Esto produce un deterioro acelerado y continuo de la estructura del pavimento que puede reducir completamente su funcionalidad en un corto plazo para lo cual será necesario un recapamiento o total reconstrucción del mismo.

Por lo que frente a estructuras deterioradas, se crea un alto grado de incertidumbre respecto de las causas y consecuencias de las fallas así como un grado de incertidumbre respecto de las posibles soluciones y evaluaciones que se pueden adoptar.

3.2 ASPECTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS

Todos hemos tenido la oportunidad de observar un pavimento, ya sea en largas caminatas en la vida o simplemente al conducir un automóvil, donde solo vemos la inmensa capa asfáltica, pero un pavimento no solo es esa capa externa y observable, es toda una estructura compleja, que necesita un diseño especial.

Un pavimento por lo general es una estructura conformada por diferentes capas, de diferentes espesores y de diferentes calidades, las cuales al interactuar unas con otras ofrecen un grado de resistencia al paso de vehículos. Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones, debe reunir las siguientes exigencias:

- ❖ Resistir a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.

- ❖ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- ❖ Presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinalmente, que permitan comodidad y confort a los usuarios.
- ❖ Presentar adecuadas condiciones respecto al drenaje.
- ❖ Ser económico

3.3 PAVIMENTO FLEXIBLE

Son aquellos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa.

Resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil.

Este tipo de pavimento está compuesto por varias capas de material. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa a estas cargas a la siguiente capa inferior.

Por lo tanto, la capa superior será la que posee la mayor capacidad de carga del material (la más cara) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) ira en su parte inferior.

FIGURA 2. 1 Pavimento flexible



Fuente: Diseño de pavimentos

3.3.1 Capas de un pavimento flexible

La típica estructura de un pavimento flexible consta de las siguientes capas:

- ❖ Capa superficial: esta es la capa superior y la capa que entra en contacto con el tráfico. Puede estar compuesta por una o varias capas asfálticas.
- ❖ Base: esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa superficial y en general, se compone de agregados (ya sea estabilizado o sin estabilizar).
- a) Capa sub-base: esta es la capa o capas, están bajo la capa base que no siempre es necesaria.

3.3.2 Duración de un pavimento flexible

La estrategia de diseño seleccionado deberá presentar un mínimo de ocho años antes de que sea obligatoria la superposición de la capa. En general la duración óptima debería estar diseñada para un periodo de 20 años. Cuando mayor sea el módulo que se añade a la capacidad de las capas de pavimento. La carga se distribuye a lo largo de un área más amplia de la sub-base o suelo de apoyo.

FIGURA 2. 2 Sección transversal



Fuente: Pirhua.udep.edu.pe.

3.3.3 Características de un pavimento flexible

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

- a) Resistencia estructural
- b) Capacidad de deformación
- c) Durabilidad
- d) Costo
- e) Requerimientos de conservación
- f) Comodidad

a) Resistencia estructural

Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura.

En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla estructural. Además de los esfuerzos cortantes también se tienen los esfuerzos producidos por la aceleración, el frenado de los vehículos y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura.

b) Capacidad de deformación

Una de las propiedades de un pavimento flexible, como su nombre lo indica es la capacidad de deformarse y restituirse a su forma original ante la repetición de las cargas actuantes

c) Durabilidad

La durabilidad está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se desee dar a un camino, depende de la importancia del mismo. Es más económico realizar mantenimiento, rehabilitaciones y reconstrucciones que un pavimento nuevo

d) Costo

Al ser este un tipo de pavimento que para la conformación de su estructura utiliza material pétreo de acceso local y que para su carpeta de rodadura pueden utilizarse mezclas fabricadas in situ, además que los espesores de la capa superficial son reducidos en relación a los de un pavimento rígido, resulta económico siempre y cuando se realicen las obras de conservación necesarias para garantizar y extender la vida útil del pavimento flexible.

e) Requerimientos de conservación

Los factores climáticos tienen gran influencia en la vida de un pavimento, otro factor es la intensidad del tránsito, debe preverse el crecimiento futuro. Debe tomarse en cuenta el comportamiento futuro de las capas estructurales, la degradación de las mismas por la repetición de las cargas, deformaciones y derrumbes. La falta de conservación sistemática reduce la vida de un pavimento flexible.

f) Comodidad

Tendrá una superficie final suave uniforme y regular, resistente al deslizamiento, resistente al rozamiento y que no produzca sonidos molestos en el interior del vehículo del usuario ni en el exterior al entorno.

3.4 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

El diseño de mezclas asfálticas, así como el diseño de otros materiales de ingeniería, consiste principalmente en seleccionar y hacer proporciones de los componentes, para obtener las propiedades deseadas o especificadas en la construcción.

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y eventualmente el desempeño de la misma como pavimento terminado. El objetivo general para el diseño de mezclas asfálticas, es el determinar cada componente de la mezcla asfáltica, y el asfalto que resulte en una mezcla económica que tenga:

- Suficiente asfalto para asegurar durabilidad.
- Suficiente estabilidad para satisfacer las demandas de tráfico sin distorsión o desplazamientos.
- Suficiente manejabilidad para permitir la colocación de la mezcla sin segregación.
- Los materiales propuestos a usarse satisfagan los requisitos de las especificaciones del proyecto.
- Las combinaciones de agregados satisfagan la granulometría requerida en las especificaciones.

Para lo cual existen dos métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de asfaltos y agregado en una mezcla. Ellos son el Método Marshall y el Método Hveem los que son ampliamente usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación, cuya selección y uso de cualquier de estos métodos de diseño de mezcla es principalmente asunto de gustos e ingeniería, debido a que cada método contiene características y ventajas singulares con resultados satisfactorios.

3.4.1 Características y comportamiento de la mezcla

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El

análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla realizada a 150°C colocada y compactada en caliente. Las cuatro características son:

- ❖ Densidad de la mezcla.
- ❖ Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- ❖ Vacíos en el agregado mineral.
- ❖ Contenido de asfalto.

3.4.1.1 Densidad

Al densidad es la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de una volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

3.4.1.2 Vacíos de aire

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla.

La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa.

3.4.1.3 Vacíos en el agregado mineral

Los vacíos en el agregado mineral son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. El vacío en el agregado mineral representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de

vacíos necesarios en la mezcla. Cuanto mayor sea el vacíos en el agregado mineral, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto.

3.4.1.4 Contenido de asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la 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 será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

El contenido total de asfaltos es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados.

3.4.2 Propiedades consideradas en el diseño

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente cuyo objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclas es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades nombradas a continuación:

3.4.2.1 Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura

bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamiento, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

3.4.2.2 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambio en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto. Éstos resultados pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito o una combinación de ambos.

3.4.2.3 Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relacionan con impermeabilidad.

3.4.2.4 Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. Puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado y la granulometría.

3.4.2.5 Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga.

A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito.

TABLA 2. 1 Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga

MALA RESISTENCIA A LA FATIGA	
Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)

3.4.2.6 Resistencia al deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento. Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa

TABLA 2. 2 Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento

POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	
Causas	Efecto
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropneumático
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)

3.4.3 Criterios de diseño normalizados

Para el diseño de mezclas asfálticas, deben cumplir con la caracterización mediante ensayos establecidos por las normas AASHTO y ASTM, como se muestra en las siguientes tablas:

TABLA 2. 3 Ensayos de laboratorio Normalizados para Agregados

Ensayo de laboratorio para AGREGADOS	Norma	Propósito
Granulometría	AASHTO T 27 ASTM C 136	La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de la carpeta asfáltica es de primordial importancia porque en función de ellas se conoce de ante mano qué clase de textura tendrá la carpeta.
Desgaste	AASHTO T 96 ASTM C 131	EL objeto es conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste, ya sea por el grado de alteración del agregado, o por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Esta característica esencial cuando el agregado va a estar sujeto a desgaste por abrasión como en el caso de los pavimentos. Es la medida de dureza de los agregados y nos da una idea de la forma en la que se comportarán los agregados, bajo los efectos de la abrasión causada por el tráfico además de la idea del grado de intemperismo que poseen los agregados.
Sanidad usando Sulfato de Sodio	AASHTO T 104 ASTM C 88	Permite obtener la información de estabilidad de un agregado bajo la acción de agentes atmosféricos. Los agregados inestables (se disgregan ante la presencia de condiciones atmosféricas desfavorables) resultan evidentemente insatisfactorios como agregados para mezcla en rodadura en pavimentos, especialmente cuando éstos tendrán una gran porción de su superficie expuesta a los agentes atmosféricos, el valor del error permisible no debe ser mayor de 0.5%.
Equivalente de Arena	AASHTO T 176 ASTM D 2419	Descubre el exceso de arcilla en los agregados, ya que es un medio rápido para separar las partículas más finas (arcillosas) de los granos más gruesos o de la arena.
Cubicidad de Partículas	ASTM D 692	Se utiliza para determinar valores como el índice de laja y la cubicidad de las partículas que componen el material pétreo. Las partículas de los agregados, deben ser limpias, duras, resistentes y durables por lo que debe evitarse partículas débiles quebradizas o laminadas ya que son perjudiciales.
Gravedad específica y absorción del agregados gruesos y finos	AASHTO T 84 AASHTO T 85 ASTM C - 127 ASTM C - 128	La gravedad específica aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido de las partículas constituyente, no se incluye aquí los espacios vacíos (poros accesibles) que contienen las partículas los cuales son accesibles al agua. El valor de absorción es usado para calcular el cambio en el peso de un agregado provocado por el agua absorbida en los poros accesibles de las partículas que constituyen el material comparado con la condición seca cuando se evalúa el comportamiento del agregado con el agua durante un periodo largo tal, que se logre alcanzar el valor potencial de absorción del mismo.
Peso Unitario y Vacío	AASHTO T 19 ASTM C 29M	En la práctica el valor de peso unitario es muy utilizado para realizar conversiones de volúmenes a pesos de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto asfáltico. La dosificación óptima de mezclas de agregados para mezclas de superficie en pavimentos puede realizarse utilizando el método de pesos unitarios, el cual consiste en elaborar una gráfica (parecida a la del Próctor) en la cual se grafica las proporciones de los agregados en las abscisas y los pesos unitarios en las ordenadas.

Fuente: The Asphalt Institute

TABLA 2. 4 Ensayos de laboratorio Normalizados para Asfaltos

Ensayo de laboratorio para ASFALTOS	Norma	Propósito
Viscosidad	AASHTO 201. ASTM D 2170	En el diseño de mezclas asfálticas, las temperaturas de mezclado y compactación se definen en función de la viscosidad que posee el Cemento asfáltico, ya que la trabajabilidad de una mezcla asfáltica, se ve influenciada por la trabajabilidad que el asfalto tenga dentro de esta misma a una temperatura determinada de trabajo. Este ensayo se usa para clasificar los Cementos Asfálticos a Viscosidad 60°. Mide la consistencia de los Cementos Asfálticos
Penetración	AASHTO T 49 ASTM D 5	Clasifica los asfaltos en grados según su dureza o consistencia medida en décimas de milímetros. Valores altos de penetración, indicarán consistencias suaves.
Punto de Inflamación	AASHTO T 48 ASTM D 92	Tiene por propósito, identificar la temperatura a la cual el asfalto puede ser manejado y almacenado sin peligro que se inflame. El punto de inflamación se mide por el ensayo en copa abierta Cleveland.
Ductilidad	AASHTO T 51 ASTM D 113	Provee de una medida de las propiedades al estiramiento de los cementos asfálticos y el valor resultante puede ser usado como criterio de aceptación del material asfáltico ensayado. Se considera la ductilidad como la capacidad que tiene el asfalto de resistir esfuerzos de estiramiento bajo condiciones de velocidad y temperatura especificada.
Punto de reblandecimiento	AASHTO T 53 ASTM D 36	La temperatura determinada como de Reblandecimiento, representa aquella a la cual un cemento asfáltico alcanzará un determinado estado de fluidez, existiendo consecuentemente una pérdida de consistencia del mismo. El punto de reblandecimiento es una prueba de resistencia a la deformación del cemento asfáltico y además es también una prueba de la viscosidad.
Ensayo de flotación	AASHTO T 50 ASTM D 139	Esta prueba caracteriza el comportamiento al flujo o consistencia de ciertos materiales bituminosos, que por su bajo grado de dureza no pueden ser ensayados utilizando el método de penetración. Este ensayo es utilizado para medir la consistencia del residuo de destilación de los asfaltos rebajados de fraguado lento.
Solubilidad en Tricloroetileno	AASHTO T 44 ASTM D 2042	Este ensayo indica la porción de constituyentes cementantes activos en el asfalto ensayado es decir se utiliza para medir la pureza del asfalto. En esta prueba las sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos, se consideran impurezas.
Peso específico	AASHTO T 228 AASHTO T 85 AASHTO T 84	El peso específico de un cemento asfáltico no se indica normalmente en las especificaciones de la obra pero existen dos razones por las cuales se debe conocer su valor y son: <ul style="list-style-type: none"> • Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura – volumen. • Es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado. Se determina normalmente por el método del picnómetro.
Endurecimiento y envejecimiento	AASHTO T 51 ASTM D 113	Tiene por propósito exponer una o varias muestras a condiciones similares ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente.

Fuente: The Asphalt Institute

3.4.4 Requisitos del agregado pétreo

TABLA 2. 5 requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa

Característica	Valor
Densidad relativa, mínimo	2,4
Desgaste de los ángulos, %	35
Partículas alargadas y lajeadas, % máximo	40
Equivalente de arena, % mínimo	50
Pérdida de estabilidad por inmersión en agua, % máximo	25

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)

TABLA 2. 6 Márgenes aceptables de granulometría del material pétreo para Carpetas asfálticas de Granulometría densa

Tamaño de Tamiz	Designación de la Mezcla usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregado				
	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)
Porcentaje Total que Pasa (en peso)					
50 mm (2 in.)	100	—	—	—	—
37.5 mm (1½ in.)	90 to 100	100	—	—	—
25.0 mm (1 in.)	—	90 to 100	100	—	—
19.0 mm (¾ in.)	56 to 80	—	90 to 100	100	—
12.5 mm (½ in.)	—	56 to 80	—	90 to 100	100
9.5 mm (¾ in.)	—	—	56 to 80	—	90 to 100
4.75 mm (No. 4)	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85
2.36 mm (No. 8)*	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67
1.18 mm (No. 16)	—	—	—	—	—
0.60 mm (No. 30)	—	—	—	—	—
0.30 mm (No. 50)	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23
0.15 mm (No. 100)	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)**	0 to 5	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10
Cemento Asfáltico, porcentaje en peso del total de la mezcla†	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)

3.4.5 Requisitos del ligante asfáltico

El cemento asfáltico de penetración 85-100 que son los más comercializados en nuestro país deberán cumplir los siguientes requisitos:

TABLA 2. 7 requisitos de calidad para cemento asfáltico de penetración 85-100

 BETUNEL INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA		CERTIFICADO DE QUALIDADE DE PRODUTO ACABADO			Nº 663/2014		
(CÓPIA)							
PRODUTO: CAP 85/100 (Exportação) DATA DO CARREGAMENTO: 24/10/14 CLIENTE: MERCANTIL LEON SRL DESTINO: SANTA CRUZ LA SIERRA - BOLIVIA VEÍCULO PLACA: HRG-3197/HTE-9641 MUNICÍPIO: CORUMBÁ HORA: TRANSPORTADOR: SAP TRANSPORTES INTERNACIONAIS LTDA OBS: MOT. HELIO NEY SOARES COSTA				QUANTIDADE: 27900 Kg C. PROVA FAB/CLI: 103790 / N. FISCAL Nº: 6358 ESTADO: MS			
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Formulario C-1 (Llenado por la Entidad) - ENSAYOS DE VERIFICACION DE CALIDAD DEL MATERIAL SOLICITADON (ENSAYOS AASHTO)				LIMITES	MÉTODO	REPRODU- TIBILIDAD(%)	ENCONTRADAS
Penetración a 25 °C, 100 gr, 0,1 mm (T - 201)	85 a 100	NBR-6576 / ASTM D5 / AASHTO T201	± 4 dmm	91			
Viscosidad Saybolt Furoí a 135 °C seg. (T - 72)	85 min.	NBR-14950 / ASTM D88 / AASHTO T72	± 2%	120			
Ensayo de la Mancha @20% Xilol (T -102)	Negativo	- / ASTM D2170 / AASHTO T102	ND	negativo			
Punto de Ablandamiento °C (T - 53)	43 a 46	NBR-6590 / ASTM D36 / AASHTO T53	± 3 °C	45			
Ductilidad a 25 °C 5 cm/min, cm (T - 51)	100 min.	NBR-6293 / ASTM D113 / AASHTO T51	consultar NBR	> 100			
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 135°C, cP	214 min.	NBR-15184 / ASTM D4402 / AASHTO T316	ND	290			
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 180°C, cP	97 min.	NBR-15184 / ASTM D4402 / AASHTO T316	ND	152			
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 177°C, cP	28 a 114	NBR-15184 / ASTM D4402 / AASHTO T316	ND	58			
TEMPERATURA DE MISTURA, °C (**) (***)	INDICATIVO	CÁLCULO	ND	141 ± 147			
TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO, °C (**) (***)	INDICATIVO	CÁLCULO	ND	130 ± 136			
Índice de Penetración de Pfeiffer	-1,5 a 0,5	CÁLCULO / CÁLCULO	ND	-1,1			
Punto de Inflamación C.O.C. °C (T - 48)	230 min.	NBR-11341 / ASTM D92 / AASHTO T48	± 18 °C	> 235			
Solubilidad en Tricloroetileno (T-44)	99 min.	NBR-14655 / ASTM D2042 / AASHTO T44	± 0,20%	99,9			
Densidad a 25 °C c/25 °C (T - 228)	0,99 min.	NBR-6296 / AASHTO T228	± 0,005	1,012			
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO PELICULA DELGADA (TFOT), 32 mm, 163°C (AASHTO T240)							
(R)TFOT - Pérdida de Masa (T - 240)	1 máx.	NBR-15235 / ASTM D2672 / AASHTO T240	consultar NBR	0,41			
(R)TFOT - Penetración del Residuo, % de la penetración orig.	50 min.	CÁLCULO	ND	55			
(R)TFOT - Pérdida por Calentamiento (T-179), %	1 máx.	CÁLCULO / AASHTO T-179	± 4 dmm	0,42			
Densidad a 25 °C c/25 °C (T - 228)	1 a 1,05	NBR-6296 / AASHTO T228	± 0,005	1			

Fuente: Elaboración propia

3.5 EVALUACIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA EXISTENTE

Dentro de los estudios que debemos realizar para poder evaluar la adherencia entre carpetas asfálticas se encuentra la evaluación y análisis de la superficie vieja o deteriorada la cual disminuyo la comodidad del usuario o vida se servicio de la estructura la cual necesita una rehabilitación. A través de un análisis de cómo fue construida y su tiempo y periodo de vida útil y una evaluación de su estado a simple inspección y mediante ensayos de laboratorio para tener un detalle de los deterioros que se presentan en la mezcla de la cual queremos determinar su constitución de la

mezcla y su comportamiento ante el tráfico, logrando neutralizar la propagación de fisuras presentes.

La evaluación del pavimento existente tiene como objetivo el análisis y estimación del valor estructural remanente, adicionalmente esta evaluación debe proporcionar la información necesaria para la investigación de las causas que originaron la falla del pavimento a rehabilitar, es decir, debe aportar los elementos de juicio necesarios para el diagnóstico de las fallas observadas con la finalidad de definir las acciones de mantenimiento o rehabilitación a ejecutar según las deficiencias encontradas.

Un requerimiento importante en el diseño de refuerzo, es la condición del pavimento existente. La evaluación de este consiste de tres elementos importantes:

Evaluación de la servicialidad (condición funcional), evaluación de la capacidad estructural y por último la observación visual del pavimento existente. Cualquiera de las tres o en combinación contribuye a tomar una decisión acerca del tipo de refuerzo más indicado para el proyecto. La evaluación estructural de un pavimento existente abarca necesariamente los siguientes trabajos:

- ❖ Evaluación superficial de la condición del pavimento.
- ❖ Evaluación del sistema de drenaje.
- ❖ Determinación de espesores y tipos de materiales constituyentes de la estructura de pavimento.
- ❖ Medición de deflexiones superficiales del pavimento.

3.5.1 Evaluación superficial de la condición del pavimento

En lo que se refiere a la evaluación superficial, la misma debe considerar las fallas presentes en el pavimento de tal manera de valorarlas, tanto en magnitud como en severidad, para así tener un indicativo referencial de su condición. Para ello se dispone de la evaluación funcional del pavimento mediante la determinación del índice de condición del pavimento PCI. Cuya información se debe complementar, en especial con la medición de deflexiones, con la finalidad de establecer posibles correlaciones entre la condición superficial del pavimento y su deflexión superficial. El PCI es un

índice numérico que varía desde 0 para un pavimento fallado o en mal estado hasta 100 para un pavimento en perfecto estado.

TABLA 2. 8 Rango de calificación del PCI

CUADRO 2 RANGO DE CALIFICACION DEL PCI	
Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85- 70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen CLASE, SEVERIDAD Y CANTIDAD, de cada daño que presenta.

El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. La información de los daños obtenidos como parte del inventario ofrece una percepción clara de las causas de los daños y su relación con las cagas.

3.5.2 Evaluación del sistema de drenaje

La evaluación del sistema de drenaje comprende un trabajo fundamental, en vista que la capacidad o aptitud de la estructura de pavimento para eliminar rápida y eficientemente las aguas superficiales es imprescindible para mantener su integridad, lo cual solo puede lograrse con un adecuado sistema de drenaje.

3.5.3 Determinación de espesores y tipos de materiales constituyentes de la estructura de pavimento.

En el caso particular del estudio de suelos y capas del pavimento existente, el mismo permitirá poseer información objetiva sobre la condición, espesor y tipo de materiales que conforman la estructura del pavimento, de tal manera de reconstruir su historia y modelar el comportamiento desde su apertura al tráfico. Este aspecto es vital en todo análisis estructural de pavimento con la finalidad de valorar su estructura e incorporarla dentro la rehabilitación del mismo.

3.5.4 Medición de deflexiones superficiales del pavimento

Toda evaluación estructural debe incluir la medición de diferentes parámetros que permitan correlacionar la condición superficial del pavimento con alguna respuesta de la estructura ante la aplicación de una carga, para lo cual existen distintos equipos de medición, tales como: la viga de Benkerlman, el cual es un equipo de medición cuasi-estática y equipos de medición dinámica como el Falling Weight Deflectometer.

3.6 FALLAS EN PAVIMENTOS

Los métodos empleados para el diseño de pavimentos consideran dentro de sus parámetros de cálculo: Tráfico Medio Diario Anual (TMDA), estratigrafía de pesos, propiedades del suelo, propiedades de los materiales que componen el pavimento y en alguno de los métodos de diseño considera además, características climáticas y otros factores, pero si un pavimento no alcanza a cumplir su vida útil, las razones principales por las cuales comienza a manifestar fallas prematuras podrían ser una serie de causas relacionadas con el tipo de material empleado, características de la base de fundación, calidad de la ejecución de la obra, controles de calidad de los materiales, efectividad de la mantención rutinaria y otros factores diversos fundamentalmente relacionados con el clima y condiciones de drenaje, que corresponden a aquellas fallas que se pudieron haber prevenido en la etapa de construcción y/o con una adecuada base de soporte la que también se consigue con buenos controles de calidad en la construcción.

3.6.1 TIPOS DE FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLE

Las fallas que se presentan en pavimentos flexibles a continuaci serán expuestas el 4 modalidades de falla o rotura de las cuales se describirán las más frecuentes:

3.6.1.1 Deformaciones permanentes TIPO A

❖ Ahuellamiento

Depresión en la banda de rodamiento, la cual puede generar levantamiento en las zonas adyacentes. Se produce como resultado de la deformación permanente de cualquiera de las capas del pavimento o la subrasante a causa de la consolidación o movimiento lateral de los materiales, debido a las cargas del tránsito. El ahuellamiento puede ser

producido por deformación plástica de la mezcla asfáltica a alta temperatura o por deficiente compactación durante la construcción. Entre mayor sea la magnitud de este deterioro, mayor es el compromiso estructural del pavimento

FIGURA 2. 3 Ahuellamiento en carreteras pavimentadas

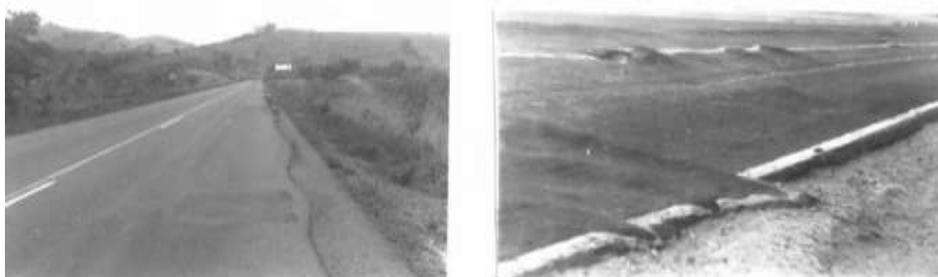


Fuente: Adolfo Montejo Fonseca; Ingeniería de pavimentos.

2. Corrimiento

Movimiento plástico caracterizado por el desplazamiento o deslizamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañado por el levantamiento del material, formando “cordones” principalmente laterales. Típicamente pueden identificarse a través de la señalización horizontal observándose una serpenteante demarcación de carriles.

FIGURA 2. 4 Deslizamiento de la mezcla asfáltica



Fuente: Adolfo Montejo Fonseca; Ingeniería de pavimentos.

3.6.1.2 Fisuraciones o agrietamientos TIPO B

1. fisura longitudinal

Fracturamiento que se extiende a través de la superficie del pavimento paralelamente al eje de la calzada. Pueden localizarse en las huellas de canalización del

tránsito, próximos a los bordes en el eje o en correspondencia con los anchos de distribución de las mezclas asfálticas; con frecuencia su ubicación es indicativa de la causa o mecanismo más probable que la original, y por ende debe ser tomada en cuenta durante la evaluación. En sus instancias iniciales suele presentarse como una fisura simple, pero a medida que avanza el deterioro del pavimento, desarrolla ramificaciones laterales y fisura paralelas, aspecto al que suele referirse como “multiplicidad”.

FIGURA 2. 5 Fisura longitudinal

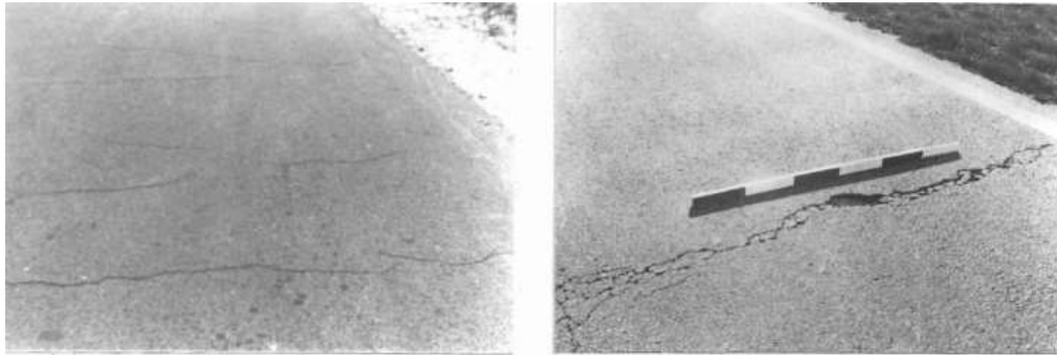


Fuente: Adolfo Montejo Fonseca; Ingeniería de pavimentos.

2. fisura transversal

Fracturamiento rectilíneo que se extiende a través de la superficie del pavimento perpendicularmente al eje de la calzada. Puede afectar todo el carril o ancho de calzada como limitarse a los 0.60m próximos al borde. A veces las fisuras transversales se distribuyen a intervalos más o menos regulares, con espaciamiento variables entre 5 y 20m. Al igual que las fisuras longitudinales puede desarrollar ramificaciones y fisuras paralelas “multiplicidad”. Se excluyen de este grupo las fisuras provenientes de la reflexión de juntas transversales, características de pavimentos mixtos en los que existe una losa de hormigón bajo la capa asfáltica.

FIGURA 2. 6 Fisura transversal



Fuente: Adolfo Montejo Fonseca; Ingeniería de pavimentos.

3. Fisura piel de cocodrilo

Serie fisuras interconectadas entre sí, formando en la superficie del pavimento pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos y dimensión mayor normalmente inferior de 0.30 m. Fenómeno asociado a las repeticiones de carga (fatiga), estas fisuras ocurren solo en áreas expuesta a las solicitaciones del tránsito (principalmente huellas de canalización); por ende raramente cubren todo el área del pavimento. No tienen por qué ocurrir en pavimentos mixtos (refuerzo asfáltico sobre losas de hormigón); en estos casos ciertos patrones de fisuración que pueden asemejarse a la piel de cocodrilo responde más bien a una reflexión de las grietas de la losa subyacente y pueden ser identificadas como fisuras en bloques.

FIGURA 2. 7 Piel de cocodrilo



Fuente: Adolfo Montejo Fonseca; Ingeniería de pavimentos.

3.6.1.3 Desintegraciones TIPO C

1. Desintegraciones por Baches

Descomposición o desintegración total de la superficie del pavimento y su remoción en una cierta extensión, usualmente menor de 0.9m de diámetro, formando un hoyo o cavidad redondeada, de bordes netos y lados verticales en su parte superior. Constituyen daños estructurales que interrumpen la continuidad del pavimento; su presencia es indicativa de insuficiente mantenimiento.

FIGURA 2. 8 Desintegración por baches



Fuente: Adolfo Montejo Fonseca; Ingeniería de pavimentos.

3.6.1.4 Otros modos de falla TIPO D

2. bacheo y reparaciones

Área donde el pavimento original ha sido removido y reemplazado parcial o totalmente con materiales similares a los originales o eventualmente diferente, con el propósito de reparar el pavimento existente. Se trata de trabajo de mantenimiento que implica necesariamente una alteración en la continuidad de la superficie y/o estructura del pavimento.

Un caso particular relativamente frecuente en área urbana es el bacheo por reparación de servicios públicos: consiste en la apertura y reposición del pavimento para permitir la instalación o mantenimiento de algún tipo de servicio público subterráneo.

FIGURA 2. 9 Bacheo y reparaciones



Fuente: Adolfo Montejo Fonseca; Ingeniería de pavimentos.

3.7 ZONA ÓPTIMA DE REHABILITACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

Existen diversos conceptos que deben tenerse en cuenta al analizar el comportamiento de un pavimento. En este sentido es importante tener presente que su estructura sufrirá con el tiempo daño y deterioro aun cuando sea adecuadamente diseñado y construido de acuerdo con todas las especificaciones y normas de calidad. Los pavimentos son probablemente la única estructura de ingeniería que se diseña para que falle dentro de un periodo específico de tiempo.

Adicionalmente, los modos de deterioro o falla son normalmente divididos en: asociados o no asociados con cargas, siendo los primeros, inducidos por el tráfico en la estructura del pavimento. Las fallas no asociadas con carga se refieren a las producidas por el medio ambiente y condiciones atmosféricas, calidad de construcción y/o materiales, y problemas especiales, tales como: temperatura y humedad, características de los suelos y materiales y diseños inadecuados de ingeniería.

Los pavimentos muestran distintas relaciones deterioro-tiempo de acuerdo con la combinación particular de los distintos factores involucrados en el mecanismo de deterioro. La figura, muestra una curva de deterioro en función del tiempo (o repeticiones de carga). Esta figura ilustra lo que pudiera definirse como una curva normal o típica, en la que se distinguen tres puntos de especial importancia, ellos son:

- **Punto A:** El pavimento comienza a mostrar síntomas menores de deterioro que requieren el inicio de labores de mantenimiento rutinario menor (sellado de grietas,

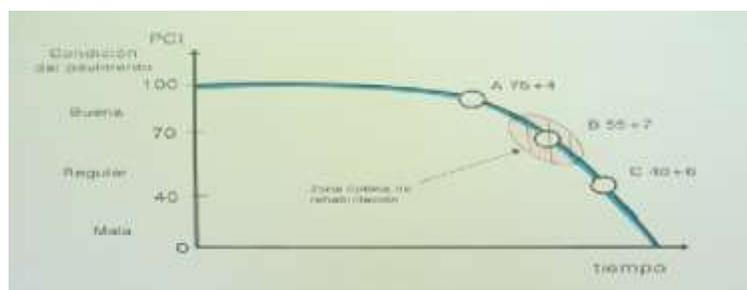
reparación de huecos y bacheo menor). Las acciones menores correctivas son importantes para controlar el deterioro.

- **Punto B:** La rata de deterioro comienza a crecer rápidamente, puede requerirse algún tipo de acción mayor. Este punto está dentro de la zona denominada "óptima de rehabilitación", en la que inversiones relativamente pequeñas producen grandes beneficios. La estructura del pavimento y su calidad de rodaje no se han deteriorado severamente, el pavimento aún conserva buena parte de su resistencia original, y una adecuada acción de rehabilitación mejorará considerablemente su condición y estructura.

- **Punto C:** La condición del pavimento ha caído en un estado crítico, tanto desde el punto de vista funcional como estructural. En este punto, normalmente, se requieren costosos trabajos de mantenimiento mayor, rehabilitación o reconstrucción.

Recientes trabajos y observaciones han generalizado el siguiente concepto: la fase comprendida entre la puesta en servicio de un pavimento nuevo y el punto "B" representa aproximadamente una reducción de 40% de su calidad (de excelente a regular), consumiendo un 75% de la vida del pavimento en términos de repeticiones de cargas (periodo de diseño). Desde este punto, en un 15% del tiempo (referido al periodo de diseño), se produce una reducción adicional del 40% en calidad (de regular a mala), debido al rápido incremento de la rata de deterioro, lo que se produce por la acción del tráfico sobre una estructura menos resistente y envejecida.

FIGURA 2. 10 Curva de deterioro de un pavimento "Zona optima de rehabilitación"



Fuente: Ing. Augusto Jugo B; Manual de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos

Como se puede observar la definición de estos puntos es de relevante importancia dentro de la configuración de una política efectiva de Mantenimiento y Rehabilitación (M&R) de pavimentos.

El resultado de diferentes estudios para ubicar los puntos A, B y C en la curva de deterioro se puede resumir de la siguiente forma:

TABLA 2. 9 Características de la curva de deterioro de un pavimento

PUNTO	PCI	CARACTERÍSTICAS
A	70±4	El pavimento empieza a necesitar mantenimiento menor.
B	55±7	Se inicia incremento de rata de deterioro. Zona óptima de rehabilitación.
C	40±6	Inicio de zona de falla, se requieren acciones de mantenimiento mayor.

PCI = Índice de condición de pavimento (0-100).

Fuente: Ing. Augusto Jugo B; Manual de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos

3.7.1 Acciones de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos

La construcción de capas asfálticas –en especial con mezclas en caliente de concreto asfáltico– constituye una de las principales actividades en el mantenimiento y rehabilitación (M&R) de pavimentos. El procedimiento clásico para proteger un pavimento deteriorado, eliminar o reducir su rugosidad, mejorar la resistencia al deslizamiento y reforzar la estructura de un pavimento flexible o rígido es mediante el recapamiento con concreto asfáltico (CA). Las capas asfálticas de alta calidad ofrecen solución para casi todo tipo de problema.

Donde se han considerado las siguientes alternativas:

- a) Capa de nivelación
- b) Capa de fricción y/o sello
- c) Capas de refuerzo estructural

Algunas características relevantes de estas acciones de M&R se presentan a continuación:

- a) **Capa de Nivelación:** Las capas de nivelación son requeridas en aquellas vías deformadas que permitan elevación de la rasante.

Son capas de espesor variable colocadas con equipo extendedor (finisher) provisto de implementos y accesorios especiales (patín, ski deslizante, sensores electrónicos, etc.). Dependiendo del caso pueden ejecutarse previo a la colocación de otra capa, o cumplir simultáneamente funciones de nivelación y refuerzo estructural, nivelación y sello en forma simultánea. Es práctica común el uso de capas delgadas (2 a 4 cm.) cuando se considera la necesidad de proteger una superficie envejecida, mejorar su calidad de rodaje y resistencia al deslizamiento. En muchos casos estas capas se comportan adecuadamente, en especial en vías menores. Sí un pavimento presenta fuertes deformaciones las capas delgadas pueden mejorar su condición de rodaje, pero no corregirla totalmente. El espesor promedio de una capa de nivelación esta en función de las deformaciones a corregir. Las capas de nivelación, aún sin tener un espesor constante, pueden tener un aporte estructural importante, el cual debe considerarse en el diseño de la acción de M&R. Uno de los objetivos buscados con la capas de nivelación, es permitir la colocación de una capa de refuerzo - de ser esta necesaria- con espesor constante, lo que facilita su construcción y mejora su calidad. Esta condición también puede lograrse mediante la nivelación previa de la superficie mediante el fresado.

- b) **Capas de Fricción y/o Sello:** Las capas de fricción tienen como objetivo principal mejorar la resistencia al deslizamiento del pavimento a fin de dar mayor seguridad a los usuarios. Estas capas deben ser de concreto asfáltico y regirse por la especificación especial C-12-10-04-SN2 (Anexo B). Sus características especiales son: el uso de agregados de especial dureza y resistencia a la pulimentación y el cumplimiento de un requisito mínimo de textura. Estas capas se colocan en pavimentos sanos y poco deformados, generalmente con espesores entre 2 y 4 cm. Su aporte estructural es moderado, sin embargo debe considerarse –según el caso– su efecto de sellado y nivelación

de deformaciones leves que mejoran la calidad de rodaje del pavimento, además de cumplir con su objetivo principal, como es el mejorar la fricción.

- c) **Capas de Refuerzo Estructural:** Un pavimento requiere la construcción de un refuerzo estructural, cuando las cargas soportadas exceden su resistencia inicial de diseño. En estos casos el pavimento ha fallado estructuralmente y requiere ser reforzado para soportar futuras cargas. La construcción de capas de concreto asfáltico (CA) es comúnmente empleada para reforzar la estructura de un pavimento y mejorar su condición funcional. La determinación del espesor de esta capa debe hacerse mediante un análisis que permita (a) establecer la condición del pavimento existente y su mecanismo de falla; (b) determinar las características y condición de los materiales "in-situ"; (c) definir el período de vida de la nueva estructura y las cargas esperadas, y (d) determinar el espesor de refuerzo empleando un método o procedimiento técnicamente reconocido y apropiado.

Los espesores de refuerzo, más comúnmente usados varían entre 4 y 6 cm., pudiéndose requerir en algunos casos espesores mayores o iguales a 10 cm. Dentro de las consideraciones de diseño de una repavimentación deben evaluarse la reducción de altura libre en pasos inferiores, sobrecarga de estructuras, elevación de rasante y su efecto sobre drenajes, brocales, aceras, defensas, intersecciones, etc. Estos problemas son más frecuentes en vías urbanas, pudiendo resolverse o minimizarse mediante la remoción por fresado. La construcción de capas de refuerzo presentan algunas ventajas adicionales, como: mejorar la condición funcional del pavimento y su fricción, reducir los costos del mantenimiento menor. Adicionalmente su técnica constructiva es ampliamente conocida y documentada, su ejecución es rápida y no requiere períodos de espera para su puesta en servicio, lo que reduce considerablemente las molestias al tráfico.

3.8 DISEÑO DE SOBRECARPETA EN PAVIMENTO

La evaluación de la capacidad estructural de los pavimentos asfálticos, así como el diseño estructural de la carpeta asfáltica nueva para refuerzo en pavimentos débiles o deteriorados, son bastante importantes a la hora de pavimentar o repavimentar caminos ya que es necesario conocer las condiciones de diseño y ensayos necesarios a través de estudios realizados en laboratorio para su calidad de rodadura brindada, su rápida habilitación al tránsito y su competitividad económica donde se debe de considerar a la adherencia entre las carpetas asfálticas como esencial porque jugara un papel fundamental en la vida útil del pavimento, demostrando que bajos niveles de adherencia repercuten indefectiblemente en grietas prematuras o una disminución significativa en su periodo de vida útil del pavimento que podría prevenirse asegurando la calidad de los materiales, así como con una correcta fase constructiva que garantice una adherencia adecuada y un buen desempeño de las estructuras.

3.8.1 Influencia de las propiedades de los materiales

3.8.1.1 Agregados pétreos

El término agregado se refiere a partículas minerales granulares que se usan ampliamente para bases, sub-bases y relleno de carreteras. Los agregados también se usan en combinación con un material cementante para formar concretos para bases, sub-bases, superficies de desgaste y estructuras de drenaje, los cuales deben satisfacer una rigurosa especificación, en cuanto a su granulometría, dureza, caras fracturadas, índice de plasticidad, porcentaje que pasa el tamiz No. 200, porcentaje de vacíos.

3.8.1.2 Propiedades de los agregados

Las propiedades más importantes de los agregados que se usan para la construcción de carreteras son:

- ❖ Tamaño y graduación de las partículas.
- ❖ Dureza o resistencia al desgaste.
- ❖ Durabilidad o resistencia al intemperismo.

- ❖ Densidad relativa.
- ❖ Estabilidad química.
- ❖ Forma de partícula y textura de la superficie.

3.8.2 Materiales asfálticos

Son materiales aglomerantes sólidos o semisólidos de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la Naturaleza en forma sólida o semisólida o se obtienen de la destilación del petróleo; o combinaciones de éstos entre sí o con el petróleo o productos de estas combinaciones.

3.8.2.1 Propiedades del material asfáltico

El asfalto es un material de particular interés para el ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero.

Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por aplicación de calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

3.9 EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA ENTRE CARPETAS ASFÁLTICAS

Diversas investigaciones han evidenciado que la adherencia entre carpetas asfálticas, juega un rol fundamental en la vida útil del pavimento, demostrando que bajos niveles de adherencia repercuten indefectiblemente en grietas prematuras o una disminución significativa en su vida útil del pavimento.

En la actualidad no existen criterios unificados en cuanto a la mejor forma de proporcionar una buena adherencia entre las carpetas asfálticas y esto repercute de manera directa dentro del análisis ocasionando fisuras y desplazamientos entre carpetas asfálticas que se podrían prevenir asegurando la calidad de los materiales así como una

correcta fase constructiva que garanticen una buena adherencia. A partir de lo anterior, surge la necesidad de desarrollar una evaluación e investigación donde se pretende asegurar la adherencia entre una superficie o carpeta asfáltica vieja y una superficie nueva que se colocara en la cual se determinara aquellos factores que influyen en la adherencia y se implementaran mejoras en la metodología de ensayo que puedan incrementar esta propiedad.

En la manufactura de un pavimento de una carretera se supone que las capas asfálticas 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 sobre un pavimento existente, para asegurar la adherencia entre la superficie asfáltica vieja y la nueva capa asfáltica que se coloca, donde el comportamiento de todas ellas sea lo más parecido a un elemento monolítico. Sin embargo, la experiencia ha puesto de manifiesto que esta unión no siempre se consigue.

FIGURA 2. 11 Sección transversal



Fuente: Elaboración propia

La adherencia final conseguida entre capas depende no sólo de cómo se haya realizado el riego, si no 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 como se ha ejecutado la nueva capa, aunque durante la fase de construcción, esta propiedad apenas se controla. El control se reduce a una 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.

3.10 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADHERENCIA

En general se sabe que la adherencia entre capas de una carpeta asfáltica depende de varios factores relacionados con materiales y procedimientos constructivos que han sido investigados con distintos métodos en trabajos anteriores.

Una adherencia inadecuada entre las capas de pavimento puede causar falla por deslizamiento entre éstas, además de provocar incrementos de tensiones de tracción en el plano de unión acelerando la falla por fatiga, o una significativa reducción en la resistencia al corte de la estructura del pavimento, haciéndola más susceptible a una variedad de fallas prematuras, tales como agrietamiento, baches, etc.

Por lo cual se proceda a desarrollar los principales factores que influyen en la adherencia entre capas, que se detallaran a continuación:

3.10.1 Tipo de Ligante

Es esperable que los ligantes comúnmente empleados en riegos de liga posean propiedades físicoquímicas diferentes, pues su composición generalmente varía de manera muy significativa. 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.

3.10.2 Tasa de aplicación del riego de liga

Con respecto a este punto estudios señalan que un exceso de riego de liga, como también una cantidad insuficiente conduce a una pérdida de adherencia por lo que es importante que la tasa de aplicación optima dependa de las condiciones de la superficie de asfalto, las cuales pueden variar según el tipo de mezcla empleado o si se trata de un pavimento envejecido, nuevo o fresado.

3.10.3 Condición de superficie de la interfaz.

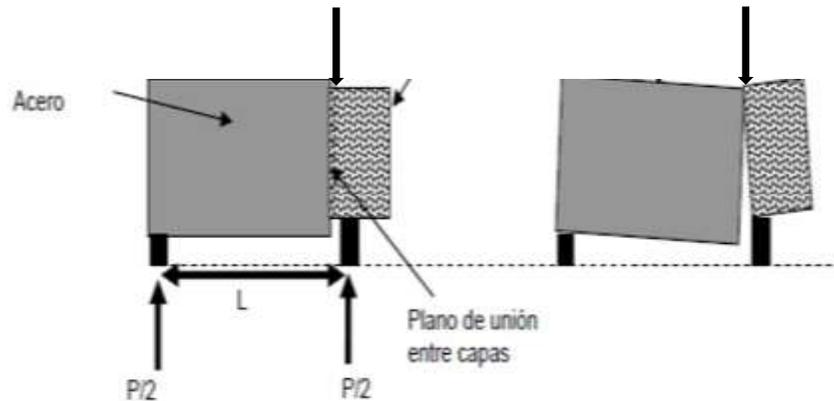
La condición de la superficie de un pavimento nuevo o antiguo incluyendo textura, limpieza y presencia de agua son uno de los factores de mayor importancia que influyen en la adherencia entre capas. En general se recomienda que el riego de liga se aplique sobre una superficie limpia y seca. En la actualidad 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

3.10.4 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.

Por este motivo, el ensayo para la determinación de adherencia entre carpetas asfálticas podría efectuarse de la siguiente manera mostrada a continuación para probar la adherencia entre carpetas asfálticas y evaluar tratamientos experimentales que incrementen esta propiedad a través del ensayo de corte LCB metodología propuesta por la Universidad de Cataluña, España, del Laboratorio de Caminos de Barcelona. (LCB), cuyo proceso permite determinar el esfuerzo cortante necesario para separar dos carpetas asfálticas, utilizado como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas

FIGURA 2. 12 Ensayo de corte LCD



Fuente: Luis Agustin Ricci: *Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas*

3.10.5 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.

3.11 TIPOS DE ADHERENCIA ENTRE CARPETAS ASFÁLTICAS

La adhesión es la responsable del vínculo entre las partes componentes del paquete estructural. Su parte formada por la atracción físico-química está representada por el efecto de pegado del material bituminoso donde actualmente se emplea emulsión asfáltica que es utilizada como riego de liga.

El adhesivo por excelencia en pavimentos asfálticos es el riego de liga aunque un producto Geosintético en asfaltos también podría ser considerado como un adhesivo siempre y cuando cumpla con su función específica de unir los paquetes estructurales donde reside el hecho de considerarlos como posibles agentes que propicien la adherencia.

3.11.1 RIEGO DE LIGA

El riego de liga consiste en la aplicación de un material asfáltico sobre una capa de pavimento, con el objeto de lograr una buena adherencia en otra capa de mezcla asfáltica que se construya encima que quedaran ligadas monolíticamente. Normalmente se utiliza una emulsión de rompimiento rápido.

Son aplicaciones delgadas y uniformes en estado líquido sobre la superficie ya sea en pavimentos existentes, bases estabilizadas o suelos donde la dosis a emplear fluctúa entre 0.4 y 1.0 litros por metro cuadrado la cual debe asegurar el logro de una película delgada, que produzca un recubrimiento total y uniforme de la superficie de trabajo, cuyas ventajas son las siguientes:

- ❖ Rapidez de secado
- ❖ Adherencia
- ❖ Capacidad de penetración
- ❖ No es inflamable
- ❖ Seguridad de transporte y manipulación.

3.11.1.1 Procedimiento y equipo requerido

La aplicación de riego de liga debe ser uniforme, sobre toda la superficie que quedará en contacto con el refuerzo. La superficie donde se aplica el riego de liga debe estar perfectamente limpia y firme, con ausencia de polvo, basura, humedad, manchas de combustibles, solventes u otros derrames, y sin desprendimientos. En el caso de ser necesario se deberá barrer la superficie en el momento previo al riego. El procedimiento de barrido podrá ser efectuado por medios manuales o por equipos barredores para limpiar la superficie de la base antes del riego para seguidamente colocar el riego de liga con un camión regador que posee en su parte posterior una barra pulverizadora donde se alojan las boquillas dispersoras donde la altura de la barra dispersora debe ser la adecuada para brindar una correcta y uniforme cobertura de la superficie.

FIGURA 2. 13 Camión regador



Fuente: Luis Agustin Ricci: Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

Una vez aplicado un riego de liga, es importante que se evite el tránsito de vehículos sobre él o limitar al mínimo la circulación de las máquinas de obra. Las distintas Especificaciones consultadas recomiendan que la colocación de la capa asfáltica de refuerzo sea efectuada el mismo día de aplicación del riego de liga a través de un camión distribuidor de asfaltos seguido finalmente de una compactación de la capa de repavimentación.

FIGURA 2. 14 Camión distribuidor de asfaltos y compactador



Fuente: Luis Agustin Ricci: Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

3.11.2 GEOTEXILES Y GEOGRILLAS

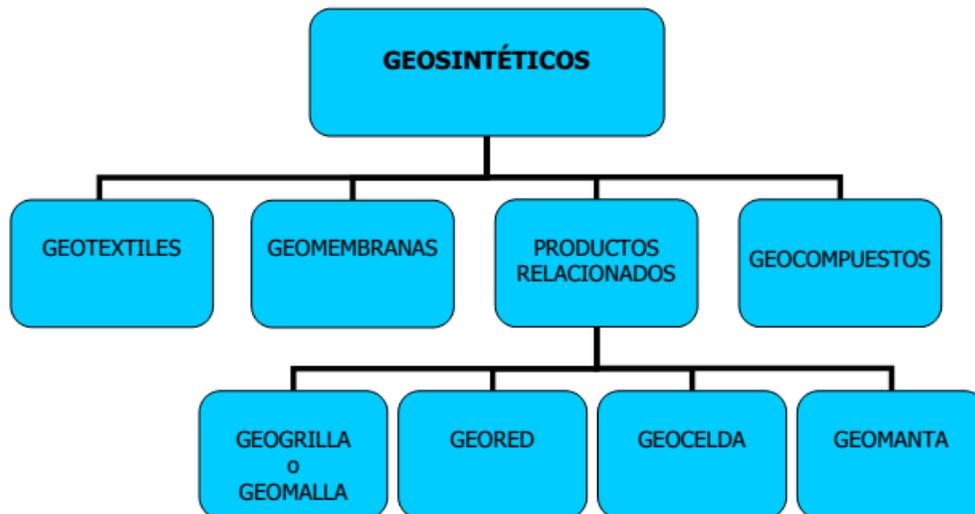
La utilización de los geosintéticos en la Ingeniería Civil se ha visto incrementada de una forma sostenida en los últimos años. Por esta razón, estos materiales están tomando cada vez un protagonismo más importante en la construcción. Esta importancia no sólo se debe al aumento que este rubro representa en el presupuesto total de las obras, sino

también a la importancia de las responsabilidades técnicas para las cuales son diseñados.

Entre sus principales ventajas cabe destacar: facilidad de puesta en obra, es un producto económico, permite ahorros de tiempos de ejecución, posibilita soluciones medioambientales correctas, empleo de mano de obra y utilización de materiales de calidad verificable.

Los productos Geosintéticos poseen diversas aplicaciones dentro del campo de la Ingeniería Vial, entre las cuales se destacan la separación de suelos de las distintas capas constitutivas, la rehabilitación de pavimentos y la construcción de pavimentos asfálticos multicapa. Una clasificación actualizada de los geosintéticos después del desarrollo de los mismos durante los últimos años, se puede realizar de la siguiente manera:

FIGURA 2. 15 Clasificación de los geosintéticos



Fuente: Luis Agustin Ricci: Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

Donde cada uno de éstos tiene una o varias funciones específicas dentro de las distintas obras que se pueden ejecutar en la Ingeniería Civil. Específicamente en la especialidad de la Ingeniería Vial, los Geosintéticos de mayor empleo e importancia han sido los Geotextiles y las Geogrillas que aportan de diferente forma y en menor o mayor medida las posibilidades de:

- ❖ Impermeabilizar superficies
- ❖ Promover modificaciones de adherencia entre capas
- ❖ Evitar la propagación de fisuras de capas inferiores a capas superiores

3.11.2.1 Geotextiles

FIGURA 2. 16 Colocado de geotextiles en pavimentos



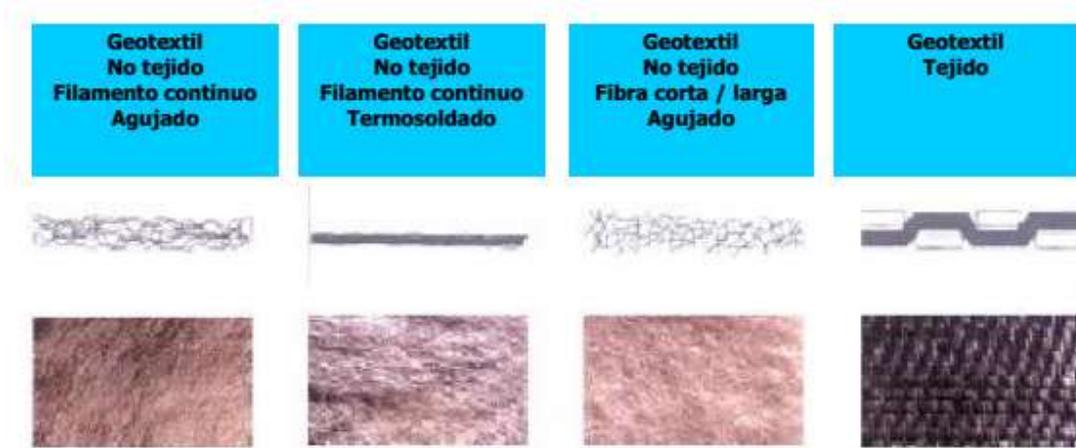
Fuente: Luis Agustin Ricci: Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

Los Geotextiles son un fieltro o un manto fabricado con fibras sintéticas, cuyas funciones se basan en la capacidad de filtración y en sus altas resistencias mecánicas, siendo éstas:

- ❖ Separar.
- ❖ Filtrar.
- ❖ Drenar.
- ❖ Reforzar.
- ❖ Proteger

El Sistema está compuesto generalmente por una tela de polipropileno no tejida saturada con una capa de ligante (como betún), y se puede colocar entre el pavimento original y una sobrecapa de asfalto, o entre la base y un pavimento nuevo que tiene la capacidad de reducir la transferencia de los esfuerzos inducidos por el tráfico en la cercanía de las fisuras, actuando como una membrana amortiguadora de esfuerzos.

FIGURA 2. 17 Clasificación de los geotextiles



Fuente: Luis Agustin Ricci: Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

3.11.3 Geogrillas

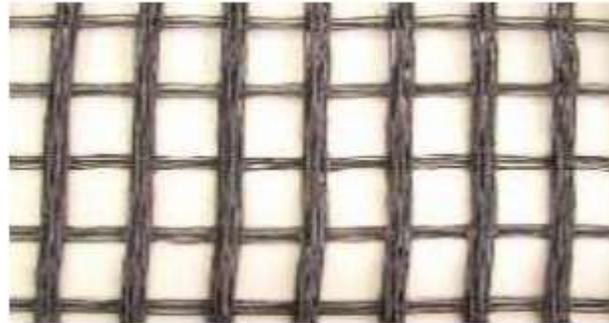
FIGURA 2. 18 Colocado de geogrillas en pavimentos



Fuente: Luis Agustin Ricci: Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

Las Geogrillas son comúnmente empleadas como refuerzos en los pavimentos deteriorados con fisuras o en coincidencia con las juntas existentes que quedarán debajo del refuerzo asfáltico. Su empleo se ve justificado a la gran capacidad de absorber los esfuerzos de tracción que se generan en la fibra inferior de un pavimento deteriorado. Cumplen la función de refuerzo y transmisión de cargas entre planos de una fisura como así también la función de retardar la propagación de dicha falla hacia estratos superiores del paquete estructural.

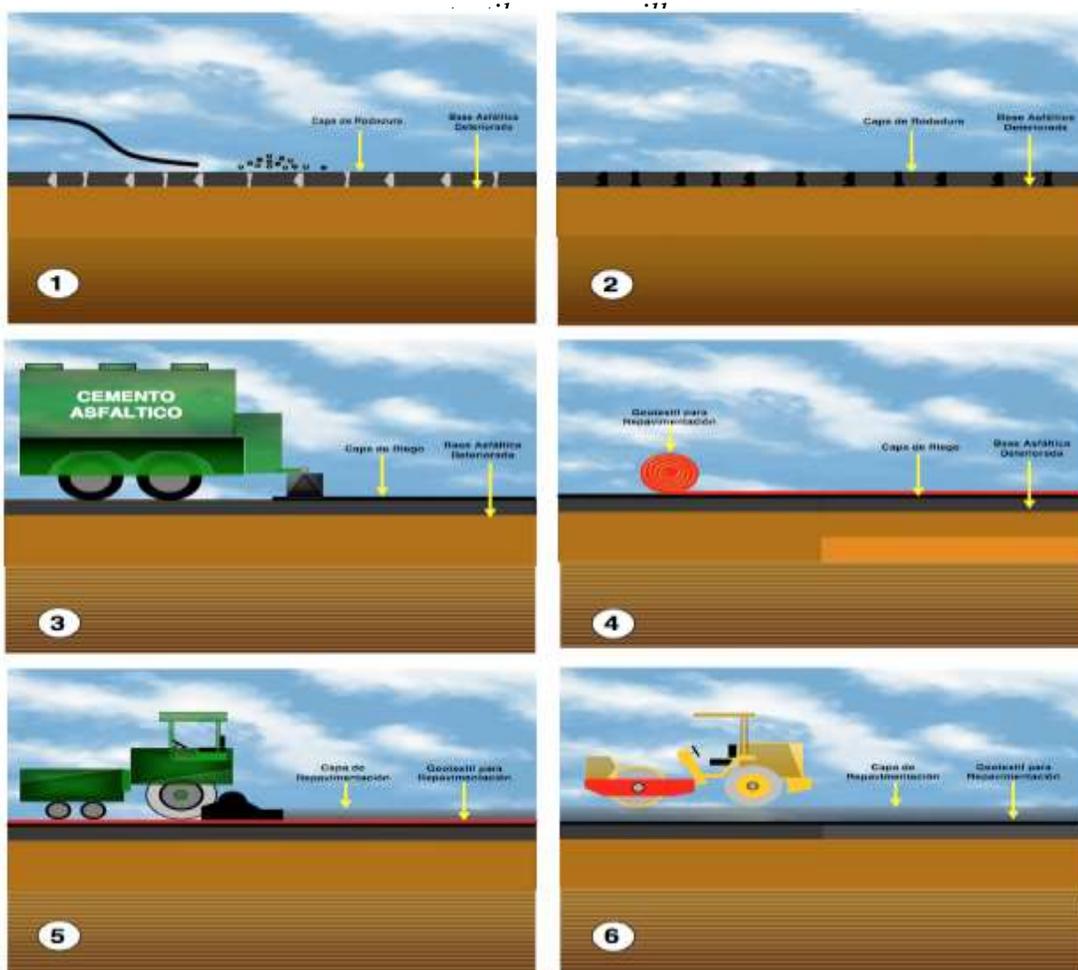
FIGURA 2. 19 Estructura de las geogrillas



Fuente: Luis Agustin Ricci: Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

3.11.3.1 Procedimiento y equipo requerido

FIGURA 2. 20 procedimiento y equipo requerido para colocado de



Fuente: Luis Agustin Ricci: Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

3.12 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA ENTRE CARPETAS ASFÁLTICAS

Existen numerosos ensayos para la valoración de la adherencia entre los cuales dependiendo del tipo de esfuerzo aplicado pueden ser clasificados en:

- ❖ Ensayos por esfuerzos de corte.
- ❖ Ensayos por esfuerzo de tracción.
- ❖ Ensayos por esfuerzo de torsión.
- ❖ Ensayos no destructivos (E.N.D.)

FIGURA 2. 21 Clasificación de los ensayos según los esfuerzos sometidos

Tipo de Esfuerzo	Ensayo	Esquema
Corte	Ensayo de corte sobre testigos	
	Ensayo de corte sobre probetas (LCB)	
	Ensayo de cizallamiento oblicuo (Slant Shear Test)	
	Método de ensayo de Grzybowska	
	Método de cizallamiento (Wedge Splitting Test)	
	Método de Iowa 406 (Test Collar)	
	Ensayo de cizallamiento de Ancona (Ancona Shear Testing)	
Tracción	Ensayo de tracción sobre testigos	
	Ensayo in situ (proyecto MTQ)	
	Ensayo de arrancamiento (Pull – Off Test Method)	
	Método de tracción directa (Pure Tension)	
Torsión	Ensayo de torsión sobre testigos	
E.N.D.	Método de repique (impact – echo method)	Sin esquema

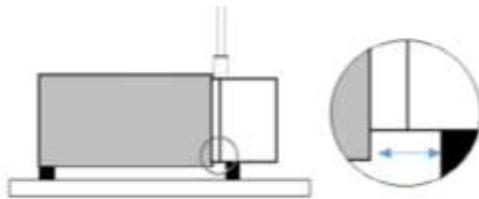
Fuente: Luis Agustin Ricci: *Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas*

Para lo cual en el presente trabajo para evaluar el grado de adherencia entre dos capas asfálticas se ha desarrollado fundamentalmente **el ensayo de corte LCB** (Laboratorio

de Caminos de Barcelona), cuyo método permite determinar el esfuerzo cortante necesario para separar las dos carpetas como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas.

Este ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la adherencia entre carpetas asfálticas el cual consta de un testigo cilíndrico que se somete a un esfuerzo cortante puro midiéndose de forma continua tanto la carga aplicada como la deformación producida.

FIGURA 2. 22 Testigo cilíndrico sometido a esfuerzo cortante



Fuente: José Cornejo Pérez: Análisis de la optimización del riego de liga

3.12.1 Aparatos y material necesario

3.12.1.1 Prensa

Prensa de compresión, de funcionamiento mecánico que pueda proporcionar una carga y una velocidad uniforme de desplazamiento durante la aplicación de la carga.

3.12.1.2 Calibrador

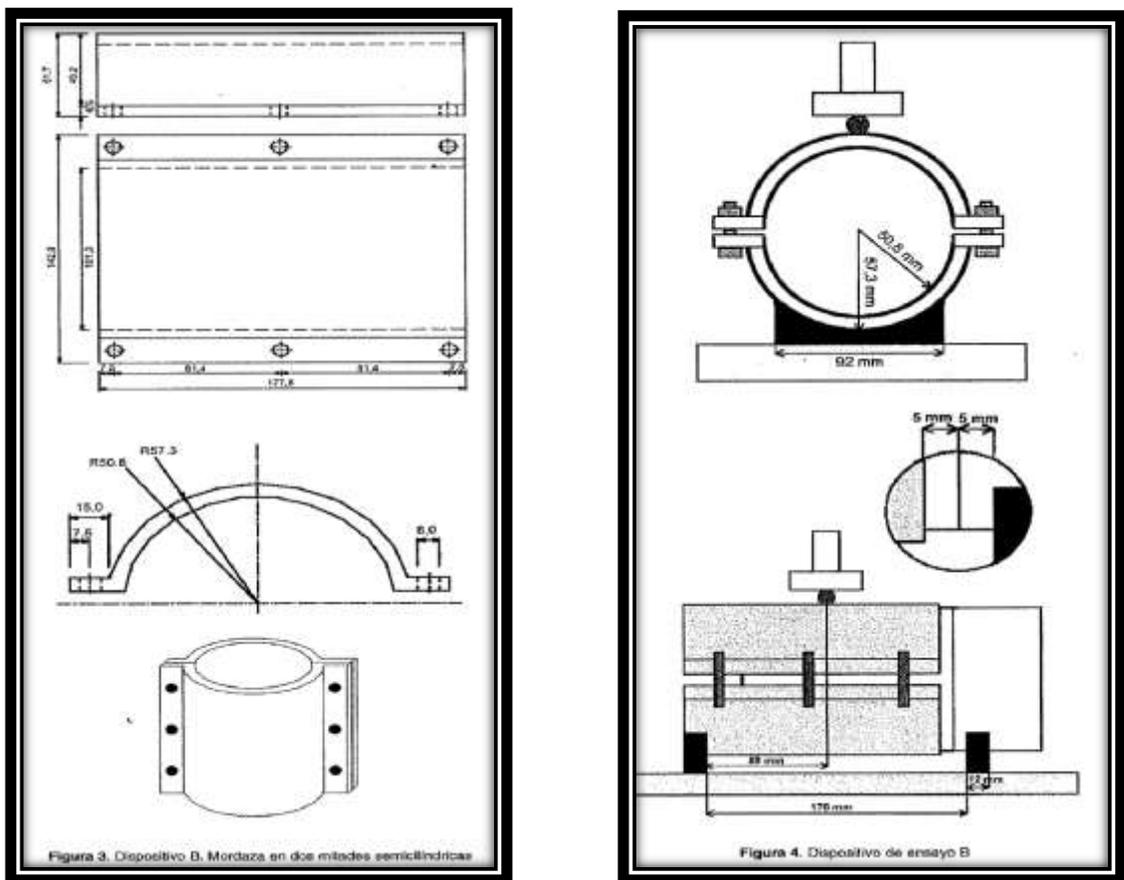
Para medir con precisión el diámetro de los testigos de ensayo.

3.12.1.3 Dispositivo de corte

El dispositivo de aplicación de carga debe producir un esfuerzo cortante de la interfaz de las dos capas ensayadas que se describe a continuación: Consiste en una mordaza cilíndrica desmontable en dos mitades, según un plano de corte a dos generatrices opuestas en la que se introduce el testigo de ensayo. La mordaza debe tener un diámetro interior de 101.6 o 150 mm y esta provista de un sistema de cierre mediante tornillos u otro procedimiento adecuado, que mantenga el testigo firmemente sujeto en su interior, tal como se muestra en la figura. La interfaz del testigo debe sobresalir 5

mm del extremo de la mordaza. Una vez dispuesto el testigo dentro de mordaza y cerrada esta, se coloca el conjunto en posición horizontal sobre una base con dos puntos de apoyo separados 188 mm. La separación de la interfaz del testigo y el punto de apoyo más cercano a dicha interfaz será también de 5 mm. El punto de aplicación de la carga estará en una posición equidistante de los dos puntos de apoyo del conjunto, el cual actúa por tanto como una viga biapoyada, donde la sección de ensayo, al estar muy próxima al punto de apoyo, solo está sometida a esfuerzo cortante

FIGURA 2.23 Dispositivo de corte



Fuente: NTL-382/08

3.13 METODOLOGÍA DE ENSAYO

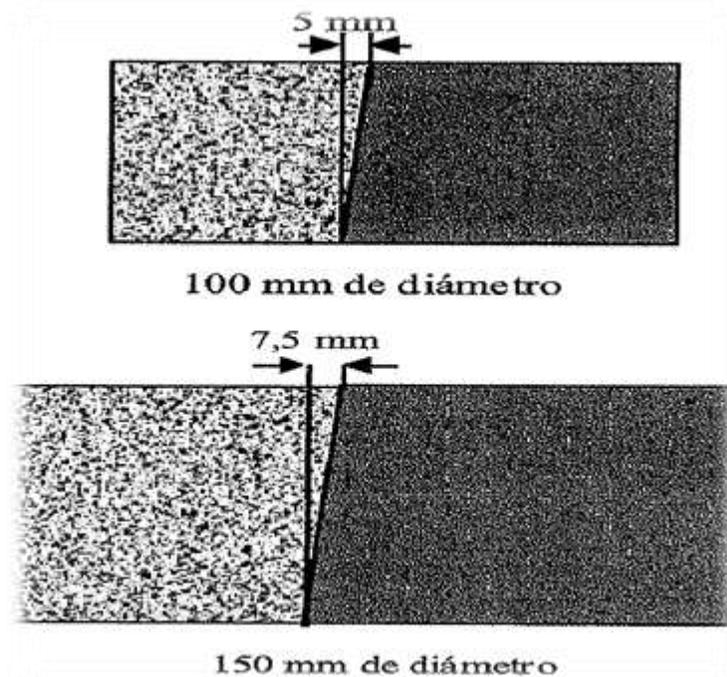
Aunque las dimensiones de los testigos no son característica privativas del ensayo. Se deben utilizar preferentemente los de 100 y 150 mm de diámetro.

3.13.1 Testigos.

Los testigos presentaran un diámetro constante en toda su longitud y las superficies laterales no presentaran irregularidades que puedan impedir su adecuada colocación en el dispositivo de ensayo.

La interfaz entre las dos capas será perpendicular al eje longitudinal del testigo, siendo 5 mm la desviación máxima aceptable respecto del plano normal a dicho eje para testigos de 100 mm de diámetro y 7.5 mm para los de 150 mm, tal como se indica en la figura los testigos con desviación mayores no podrán utilizarse en este ensayo, así como aquellos en los que el espesor de alguna de las capas sobre las que se realice el ensayo sea inferior a 25 mm.

FIGURA 2.24 Desviación máxima aceptable



Fuente: NTL-382/08

3.13.2 Medida del diámetro de los testigos

Con calibrador se realizan dos mediciones del diámetro de cada testigo con precisión de 0.1 mm, en ambas secciones paralelas situadas próximas y a ambos lados de la interfaz de las capas se determina el promedio.

Con este diámetro medio se calcula la superficie de la sección transversal (S) mediante la expresión:

$$S = \pi \cdot d^2 / 4$$

3.13.3 Acondicionamiento térmico de los testigos

Una vez que se han extraído los testigos de la probeta, ya sean de una o dos capas, se sumergen en baño de agua a 20° C un mínimo de 12 horas.

Se retira el testigo del baño de agua y se realiza una marca donde está la interfaz de unión. El testigo debe ser colocado de tal forma que la marca quede a 5 mm de cada borde de la mordaza metálica. Se fijan los pernos del molde.

FIGURA 2.25 Ubicación del plano de falla en la mordaza



Fuente: Luis Agustin Ricci: Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

3.13.4 Proceso de ejecución para el ensayo de corte LCD

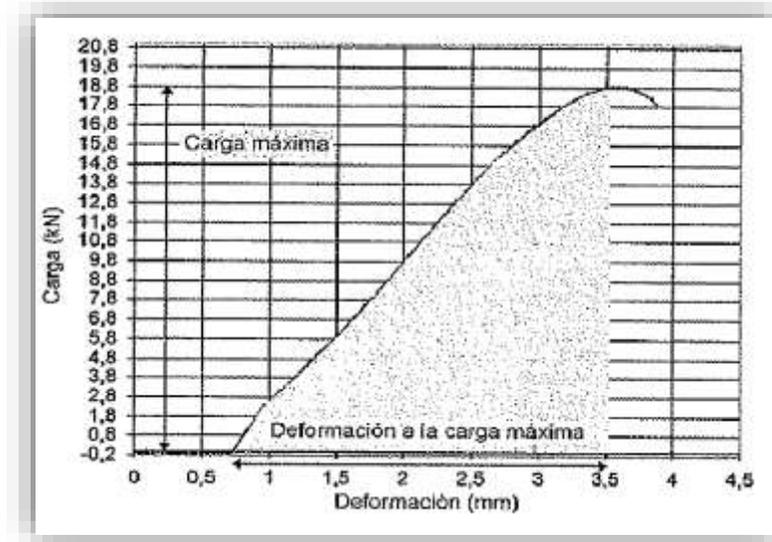
Se retira el testigo del recinto termostático y se actúa inmediatamente en el dispositivo de corte en la posición adecuada, ajustando la brida de sujeción o colocando y asegurando firmemente la mitad superior de la mordaza, aplicando la carga sobre el dispositivo con la ayuda de un dial para medir la deformación de la prensa para controlar la velocidad de carga.

Durante el ensayo se registran los valores de la carga y del desplazamiento producido a intervalos de 10 segundos hasta la falla o separación de las capas donde la interfaz se sitúa sobresaliendo 5 mm del extremo de la mordaza y a una distancia de otro 5 mm

del extremo de la mordaza cerrada y a una distancia de otros 5 mm respecto del punto sobre el que se apoya el testigo.

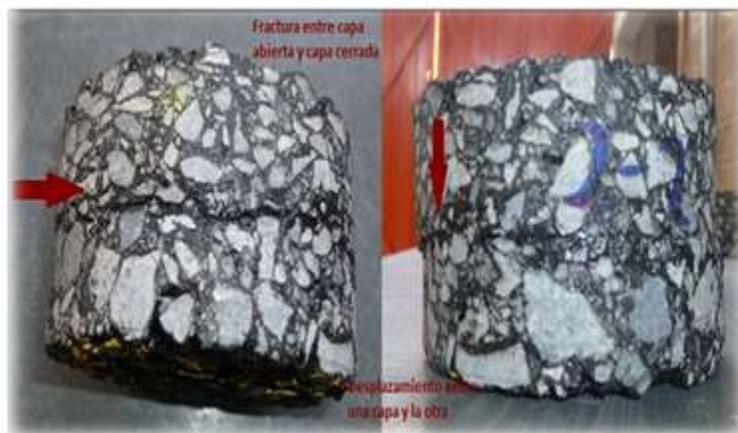
Donde a continuación podremos obtener un gráfico típico de ensayo de corte en el que se indica la carga máxima y la deformación producida por dicho valor de carga máxima.

FIGURA 2. 26 Curva Carga- Deformación de un ensayo



Fuente: NTL-382/08

FIGURA 2.27 Desplazamiento entre una capa y la otra



Fuente: Luis Agustin Ricci: Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

A partir del diagrama de carga- deformación de casa testigo ensayado variando la cantidad de agregados se determinaran las siguientes magnitudes:

- ❖ Carga máxima de rotura, F_{max} , expresada en N.
- ❖ Resistencia a esfuerzo cortante T_c , calculada a partir de la carga máxima De rotura mediante la expresión

$$T_c = (F_{m\acute{a}x} / 2) / S$$

Donde:

S: es la superficie de la sección transversal, en mm^2

T_c : es la resistencia de corte en N/mm^2 (MPa)

Tambien puede determinarse la energía de deformación hasta la rotura E_d , correspondiente al area limitada bajo la curva de ensayo hasta alcanzarse el valor de carga máxima.

Ademas del resultado de adherencia se informara de:

- ❖ Deformacion a la carga máxima , en mm.
- ❖ Origen de la muestra de ensayo: testigo extraido del pavimento y probeta fabricada en laboratorio.
- ❖ Diámetro de la muestra de ensayo
- ❖ Temperatura de ensayo en $^{\circ}C$

CAPÍTULO III

INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN.

6.1 INTRODUCCIÓN

La adherencia o unión entre una superficie con deterioros y la pavimentación asfáltica nueva juegan un rol fundamental en la vida útil del pavimento, demostrando que bajos niveles de adherencia repercuten indefectiblemente en grietas prematuras o una disminución significativa en su periodo de vida útil.

Del mismo modo, frente a estructuras deterioradas, se crea un alto grado de incertidumbre respecto de las causas y consecuencias de las fallas así como un grado de incertidumbre respecto de las posibles soluciones que se pueden adoptar.

Por lo que se propone en el presente trabajo evaluar la adherencia entre carpetas asfálticas cumpliendo condiciones necesarias que incrementen esta propiedad, través del ensayo de corte LCB metodología propuesta por la Universidad de Cataluña, España, del Laboratorio de Caminos de Barcelona. (LCB), cuyo proceso permite determinar el esfuerzo cortante necesario para separar dos carpetas asfálticas, utilizado como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas.

Procediendo primeramente a analizar la superficie o carpeta asfáltica deteriorada y extraer la cantidad de muestras necesarias que actuaran como la capa inferior para realizar la evaluación de adherencia es decir, cómo fue construido, su tiempo o periodo de vida útil observando el deterioro presente que disminuyo la comodidad del usuario; y su estado a simple inspección y a través de ensayos de laboratorio de dicha carpeta asfáltica ya deteriorada.

Seguidamente de una caracterización de los materiales granulares y cemento asfáltico que deberán cumplir las especificaciones y requisitos constructivos que se utilizaran en la carpeta nueva, ensayos de Marshall para estudiar su estabilidad y fluencia, para recién proceder a la adherencia de ambas carpetas asfálticas y su respectiva evaluación a través del ensayo de corte LCB donde se determinara el esfuerzo cortante necesario

para separar las dos carpetas asfálticas para evaluar la adherencia entre ambas carpetas asfálticas.

Describiendo a continuación los ensayos y actividades realizadas para la obtención de la evaluación entre carpetas asfálticas:

6.2 SELECCIÓN DE MATERIALES

6.2.1 Carpeta asfáltica deteriorada

Para la obtención de la carpeta asfáltica deteriorada, se procedió a levantar la carpeta asfáltica en bloques o lozas a partir de la escarificación que realizó la empresa encargada BONASE, para el tendido de cables de líneas de transmisión subterráneas en el barrio Villa Avaroa.

Se hizo levantamiento de tres puntos, la primera en la calle Colon entre San José y 14 de junio, la segunda en calle Colon entre calle 14 de Junio y Chorolque, y la tercera en calle Colon entre calles Chorolque y Ayoroa, como se muestran en las siguientes imágenes:

FIGURA 3. 1 Croquis de ubicación del muestreo



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 2 Muestra 1, Calle Colon entre San José y 14 de Junio



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 3 Muestra 2, Calle Colon Entre 14 de Junio y Chorolque



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 4 Muestra 3, Calle Colon entre Chorolque y Avaroa



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 5 muestra extraída de carpeta asfáltica existente, Barrio Villa Avaroa



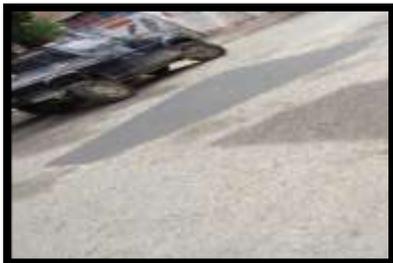
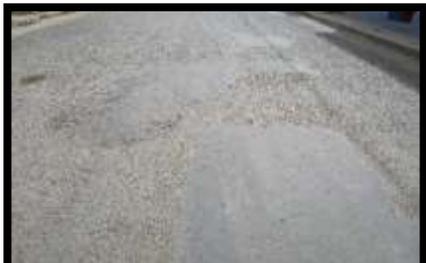
Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Inspección visual del pavimento existente

6.2.2.1 Descripción de fallas presentes en la carpeta asfáltica

Los tipos de fallas visualizados en la carpeta asfáltica son los que se describen a continuación con sus respectivas características:

	<p>Fisura longitudinal:</p> <p>El paso continuo de vehículos hace que la capa asfáltica flexione, generando esfuerzos de tensión en su extremo inferior este fenómeno es denominado fatiga es decir la falla de un pavimento por repetición de carga que llega a disminuir la vida del pavimento porque penetra más fácil el agua y aire.</p>
	<p>Fisura transversal:</p> <p>Fracturamiento rectilíneo que se extiende a través de la superficie del pavimento perpendicularmente al eje de la calzada Al igual que las fisuras longitudinales puede desarrollar ramificaciones y fisuras paralelas “multiplicidad”.</p>

	<p>Piel de cocodrilo:</p> <p>Ocurre principalmente por fatiga debido a carga cuando el espesor de la estructura es insuficiente para soportar las cargas la mezcla asfáltica o ligante envejece y por lo general viene acompañada con hundimientos del área afectada.</p>
	<p>Bacheo y reparaciones</p> <p>Se presenta como una forma en que muchas ocasiones se remedian mecanismos de daño como baches, piel de cocodrilo malla escalonada así como en zonas que necesitan instalación y cableado bajo el pavimento, durante su proceso de evaluación visual debe anotarse el deterioro anterior que tuvo.</p>
	<p>Desintegraciones por Baches</p> <p>Descomposición o desintegración total de la superficie del pavimento y su remoción en una cierta extensión, Constituyen daños estructurales que interrumpen la continuidad del pavimento; su presencia es indicativa de insuficiente mantenimiento.</p>

Fuente: Elaboración propia

6.2.3 Materiales de aporte

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de

Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes; Además de tener una disponibilidad.

El material pétreo, está situado en la comunidad de La Pintada, donde se encuentra ubicada una chancadora para la provisión de material para la Alcaldía del Municipio de Tarija de la Provincia Cercado.

FIGURA 3. 6 Chancadora para la provisión de material



Fuente: Elaboración propia

El Betún como ligante asfáltico C.A. 85-100 con nombre Betunel de procedencia Brasileira, también proporcionado por la misma institución; siendo los mismos analizados en laboratorio de Suelos, Hormigones y Asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

TABLA 3. 1 Especificaciones técnicas del cemento asfáltico de aporte

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Formulario C-1 (Llenado por la Entidad) - ENSAYOS DE VERIFICACION DE CALIDAD DEL MATERIAL SOLICITADON (ENSAYOS AASHTO)	LIMITES	MÉTODO	REPRODU- TIBILID.(*)	ENCONTRADAS	
Penetración a 25 °C, 100 gr, 0,1 mm (T - 201)	85 a 100	NBR-6576 / ASTM D5 / AASHTO T201	± 4 dmm	91	
Viscosidad Saybolt Furol a 135 °C seg. (T - 72)	85 min.	NBR-14950 / ASTM D88 / AASHTO T72	± 2%	120	
Ensayo de la Mancha @20% Xílof (T -102)	Negativo	- / ASTM D2170 / AASHTO T102	ND	negativo	
Punto de Ablandamiento °C (T - 53)	43 a 46	NBR-6560 / ASTM D36 / AASHTO T53	± 3 °C	45	
Ductilidad a 25 °C 5 cm/min, cm (T - 51)	100 mín.	NBR-6293 / ASTM D113 / AASHTO T61	consultar NBR	> 100	
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 135°C, cP	214 mín.	NBR-15184 / ASTM D4402 / AASHTO T316	ND	290	
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 150 °C, cP	97 mín.	NBR-15184 / ASTM D4402 / AASHTO T316	ND	152	
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 177 °C, cP	28 a 114	NBR-15184 / ASTM D4402 / AASHTO T316	ND	58	
TEMPERATURA DE MISTURA, °C (**) (***)	INDICATIVO	CÁLCULO	ND	141 ± 147	
TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO, °C (**) (***)	INDICATIVO	CÁLCULO	ND	130 a 136	
Índice de Penetración de Pfeiffer	-1,5 a 0,5	CÁLCULO / CÁLCULO	ND	-1,1	
Punto de Inflamación C.O.C. °C (T - 48)	230 mín.	NBR-11341 / ASTM D92 / AASHTO T48	± 18 °C	> 235	
Solubilidad en Tricloroetilano (T-44)	99 mín.	NBR-14655 / ASTM D2042 / AASHTO T44	± 0,26%	99,9	
Densidad a 25 °C c/25 °C (T - 228)	0,99 mín.	NBR-6296 / AASHTO T228	± 0,005	1,012	
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO PELICULA DELGADA (TFOT), 32 mm, 163°C (AASHTO T240)					
(R)TFOT - Pérdida de Masa (T - 240)	1 máx.	NBR-15235 / ASTM D2872 / AASHTO T240	consultar NBR	0,41	
(R)TFOT - Penetración del Residuo, % de la penetración origi	50 mín.	CÁLCULO	ND	55	
(R)TFOT - Pérdida por Calentamiento (T-179), %	1 máx.	CÁLCULO / AASHTO T-179	± 4 dmm	0,42	
Densidad a 25 °C c/25 °C (T - 228)	1 a 1,05	NBR-6296 / AASHTO T228	± 0,005	1	

Fuente: Elaboración propia

6.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

6.3.1 Carpeta asfáltica existente

6.3.1.1 Extracción de testigos

La extracción de testigos tiene como principal objetivo verificar que los diferentes parámetros de diseño (densidad, espesor, resistencia, etc.), cumplan con las especificaciones de la obra. También en muchas ocasiones sirven para determinar adicionalmente, el contenido porcentual de asfalto, por medio del ensayo de centrifugación.

En el presente trabajo la extracción de testigos se realizó para analizar la superficie o carpeta asfáltica existente y extraer la cantidad necesaria de muestras que actuaran como la capa inferior para realizar la evaluación de adherencia entre carpetas asfáltica.

6.3.1.2 Contenido de asfalto de muestras del pavimento deteriorado

Tiene por objetivo determinar el contenido de residuo o cemento asfáltico en las mezclas, expresándolo como porcentaje en peso respecto al del material pétreo seco. Para obtener el contenido de cemento asfáltico en la mezcla ya elaborada se emplea una aparato llamado rotanex extractor centrifugo, que proporciona un medio útil para comprobar el porcentaje de cemento asfáltico presente en la mezcla. Además permite el efectuar un análisis granulométrico del agregado al finalizar la prueba de extracción del cemento asfáltico.

6.3.1.3 Análisis granulométrico del agregado pétreo

El análisis granulométrico de los agregados pétreos al finalizar la prueba de extracción del cemento asfáltico nos permite determinar la distribución de las partículas de agregados gruesos y finos extraídos de muestras asfálticas y para verificar el cumplimiento de granulometría con la banda de trabajo y además entregar antecedentes para el control de calidad de las mezclas asfálticas.

6.3.1.4 Limpieza de las muestras obtenidas

Finamente después de extraer la cantidad necesaria de muestras que actuaran como la capa inferior para realizar la evaluación de adherencia entre carpetas asfáltica de debe de tener una superficie asfáltica seca, limpia y preparada, para colocar el riego de liga correspondiente y la carpeta asfáltica nueva.

El procedimiento y descripción de la práctica se verá en el ANEXO 1

ESQUEMA 3. 1 Realización de la práctica para la obtención de testigos



FIGURA 3. 7

Muestras o lozas extraídas de carpeta asfáltica existente.



FIGURA 3. 8

Extracción de testigos para el análisis y extracción de muestras necesarias para evaluar la adherencia entre carpetas asfálticas existentes.



FIGURA 3. 9

Testigos que actuarán como la capa inferior para realizar la evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas



FIGURA 3. 10

Ensayo de centrifugado para determinar el porcentaje de cemento asfáltico presente en la muestra o carpeta asfáltica existente



FIGURA 3. 11

Agregado pétreo para la realización del análisis granulométrico al finalizar la prueba de extracción del cemento asfáltico



FIGURA 3. 12

Tamices para la realización del análisis del agregado pétreo para determinar la distribución de las partículas y control de calidad



FIGURA 3. 13

Limpieza de muestras necesarias obtenidas a través de la extracción de testigos que actuarán como la capa inferior para realizar la evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas

Fuente: Elaboración propia

6.3.1.5 Resultados

TABLA 3. 2 resultado de contenido de cemento asfáltico

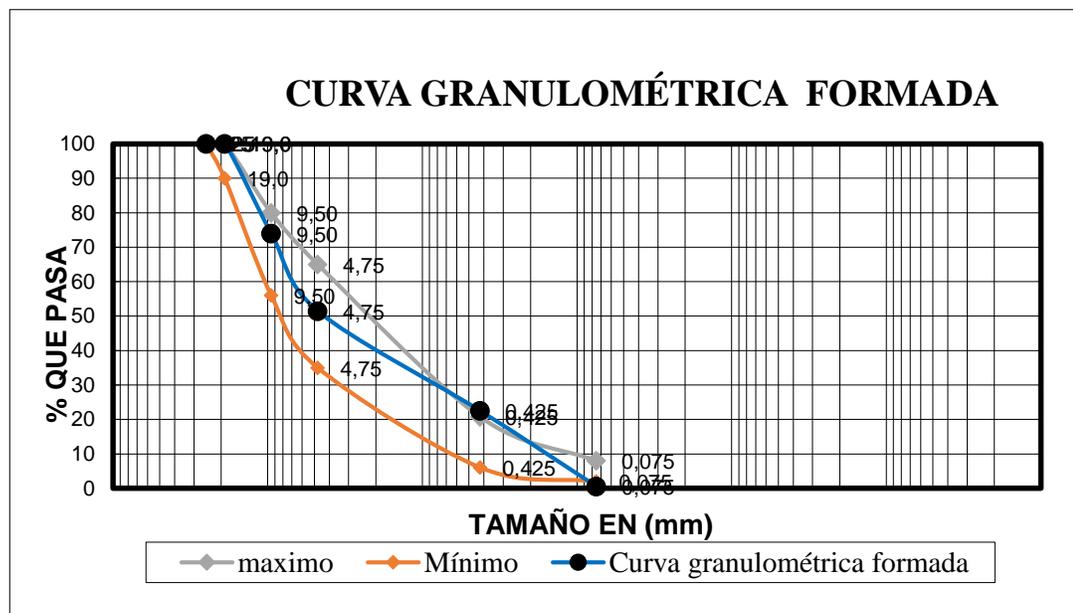
Contenido de asfalto %	5,14%
------------------------	-------

TABLA 3. 3 Resultados de granulometría del agregado pétreo

% que pasa del total	Especificaciones	
	Mínimo	Máximo
100,00	100	100
100,00	90	100
86,29	-	-
73,99	56	80,00
51,47	35	65,00
36,90	-	-
22,53	6,09	20,8
0,55	2	8

Fuente: Elaboración propia

Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Caracterización del cemento asfáltico

Para poder caracterizar el cemento asfáltico se procedió a realizar los siguientes ensayos descritos a continuación en el laboratorio de asfaltos de la universidad Juan Misael Saracho.

El procedimiento de cada ensayo realizado se verá en el ANEXO 2.

6.3.2.1 Ensayo de penetración de materiales bituminosos (DESIGNACIÓN AASHTO: T49-93) (ASTM: D 5-86)

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un betún asfáltico, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo.

RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO

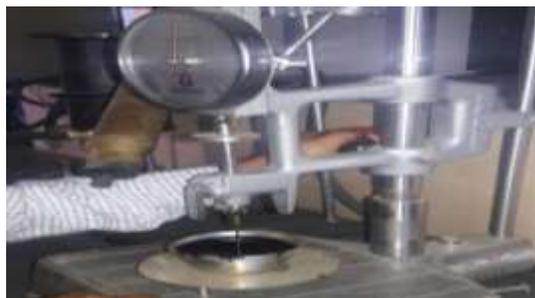
La muestra se funde y se refresca bajo condiciones controladas. La penetración es medida con un penetrometro por medio de una aguja normalizada se aplica a la muestra bajo condiciones específicas.

FIGURA 3. 14 Muestras de asfalto sometidas a una temperatura de 25°C



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 15 Ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia

Resultados

TABLA 3. 4 Resultados de ensayo de penetración

<i>PROMEDIO</i>	<i>ESPECIFICACIONES</i>	
	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
92	85	100

Fuente: Elaboración propia

6.3.2.2 Punto de inflamación por el vaso abierto de **Cleveland (DESIGNACIÓN ASTM D 22) (AASHTO T 48)**

El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a que puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre.

Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella a que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de fuego, pero rara vez se incluye en las especificaciones de los betunes asfálticos.

RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO

El vaso del ensayo se llena hasta un nivel especificado con la muestra. La temperatura de la muestra es aumentada rápidamente al principio y entonces a una proporción lenta constante a medida que el punto de destello se aproxima.

En intervalos especificados una llama pequeña se pasa por el vaso.

La temperatura más baja a que la aplicación de la llama causa vapores sobre la superficie del líquido es denominada como el punto de destello.

Para determinar el punto de inflamación, se continúa con el ensayo hasta que la aplicación de la llama ocasiona que el aceite se incendie y se quemé durante por lo menos 5 segundos.

FIGURA 3. 16 Ensayo punto de inflamación por el vaso abierto de Cleveland



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

TABLA 3. 5 Resultados de punto de inflamación por el vaso abierto de Cleveland

PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
>318	>230	-

Fuente: Elaboración propia

6.3.2.3 Ductilidad de materiales bituminosos (DESIGNACIÓN AASTHO: T 51-93) (ASTM: D 113-79)

La ductilidad es una característica de los betunes asfálticos importante en muchas aplicaciones.. Los betunes asfálticos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos a los que les falta esta característica. Por otra parte, los betunes asfálticos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura. En algunas aplicaciones, como las mezclas para pavimentación, tienen gran importancia la ductilidad y el poder aglomerante, mientras en otras, como la inyección bajo losas de hormigón y en el relleno de grietas, la propiedad más esencial es una baja susceptibilidad a los cambios de temperatura.

RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO

La ductilidad de un material bituminoso es medida por la distancia en centímetros a la cual se alargará antes de romper cuando se tiran dos extremos de un espécimen de la briqueta del material, estos extremos son separados a una velocidad especificada y a una temperatura especificada. A menos que por otra parte se especifique, el ensayo se

hará a una temperatura de 25 ± 0 . y con una velocidad de 50 mm por minuto ± 2.5 mm por minuto.

FIGURA 3.17 Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

TABLA 3.6 Resultados ensayo de ductilidad

<i>PROMEDIO</i>	<i>ESPECIFICACIONES</i>	
	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
<i>102</i>	<i>100</i>	

Fuente: Elaboración propia

6.3.2.4 Punto de ablandamiento (aparato del anillo y esfera) (DESIGNACIÓN AASHTO: T 53-92) (ASTM: D 36-89)

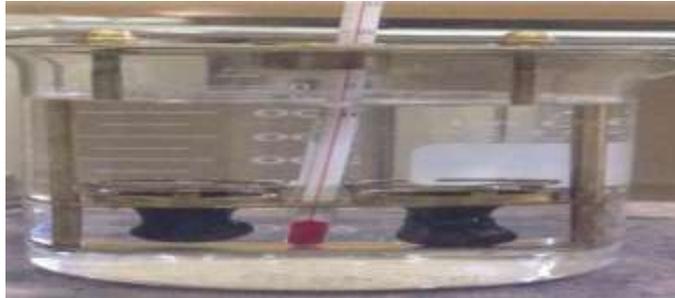
Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a temperaturas diferentes. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a que estos asfaltos se hacen fluidos.

RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO

Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas. La muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificados. A continuación se calienta el baño a una temperatura determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura se llama

punto de reblandecimiento del asfalto.

FIGURA 3. 18 Ensayo punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia

Resultados

TABLA 3.7 Resultados punto de ablandamiento

PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
	Mínimo	Máximo
46	42	53

Fuente: Elaboración propia

6.3.2.5 Ensayo de gravedad específica de materiales bituminosos (DESIGNACIÓN AASHTO: T 228-93) (ASTM: D 70-76)

Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del betún asfáltico que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas.

El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas.

Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1,05 veces lo que el agua a la temperatura fijada. El peso específico del betún asfáltico se determina normalmente por el método del picnómetro.

FIGURA 3. 179 ensayo de gravedad específica con el uso de picnómetro



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

TABLA 3.8 Resultados de gravedad específica

PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
1,009	1	1,05

Fuente: Elaboración propia

6.3.3 Caracterización del agregado pétreo

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto se obtuvo el material pétreo está situado en la comunidad de La Pintada, donde se encuentra ubicada una chancadora para la provisión de material para la Alcaldía del Municipio de Tarija de la Provincia Cercado.

El procedimiento de cada ensayo realizado se verá en el ANEXO 3.

ESQUEMA 3. 2 Obtención del material pétreo nuevo



FIGURA 3. 18

Chancadora para la provision del material

FIGURA 3.21

Material pétreo para la realización de ensayos de laboratorio

Fuente: Elaboración propia

6.3.3.1 Análisis granulométrico de los agregados (DESIGNACIÓN AASHTO: T 27) (ASTM: C-136)

Se denomina granulometría, a la distribución en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido. Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos.

OBJETIVO

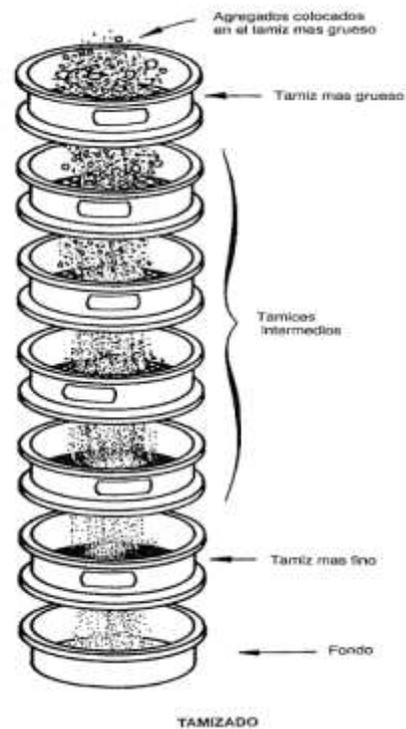
Obtener el porcentaje de material que pasa cada tamiz de la serie de tamices estándar y graficar la curva granulométrica para establecer la distribución de los materiales de los granos presentes en una masa de suelo, que debe estar dentro de las especificaciones establecidas.

FIGURA 3. 19 Juego de tamices



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 23 Tamizado de los agregados



Fuente: Construcción de pavimentos.

RESULTADOS

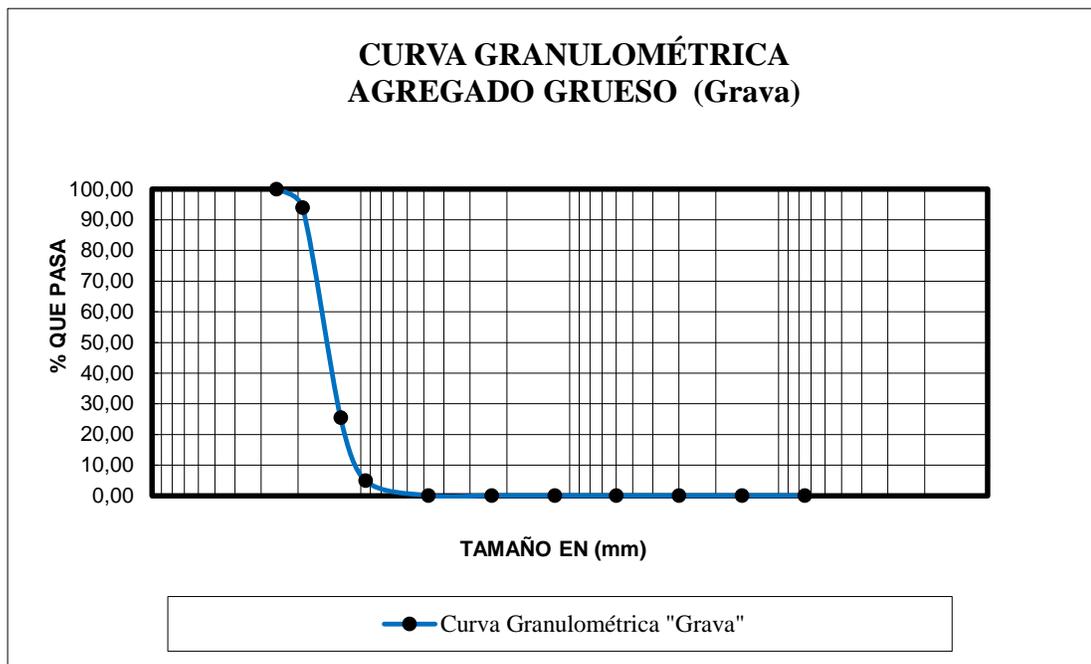
GRANULOMETRÍA - AGREGADO GRUESO (Grava)

TABLA 3.9 Resultado de granulometría del agregado grueso

Tamices	tamaño(mm)	% que pasa del total
1"	25,4	100,00
3/4"	19	93,91
1/2"	12,5	25,46
3/8"	9,5	4,90
Nº4	4,75	0,04
Nº8	2,36	0,04
Nº16	1,18	0,04
Nº30	0,6	0,04
Nº50	0,3	0,04
Nº100	0,15	0,04
Nº200	0,075	0,04
BASE	-	0,02

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 24 Curva granulométrica agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

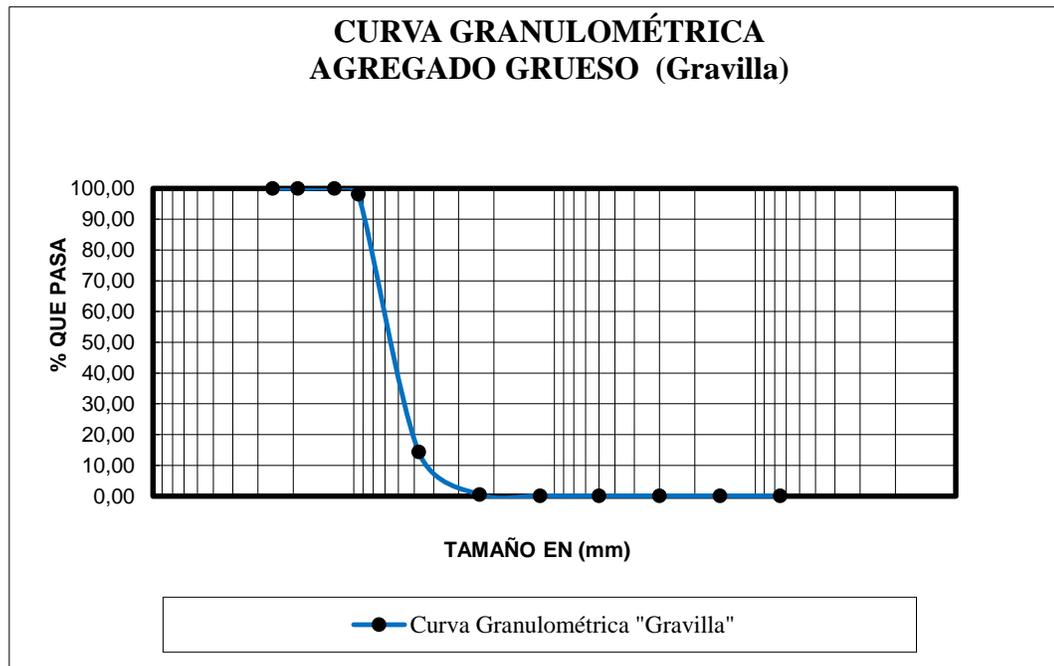
GRANULOMETRÍA - AGREGADO GRUESO (Gravilla)

TABLA 3.10 Resultado de granulometría de la gravilla

<i>Tamices</i>	<i>tamaño(mm)</i>	<i>% que pasa del total</i>
1"	25,4	100,00
3/4"	19	100,00
1/2"	12,5	100,00
3/8"	9,5	98,14
Nº4	4,75	14,48
Nº8	2,36	0,54
Nº16	1,18	0,13
Nº30	0,6	0,12
Nº50	0,3	0,12
Nº100	0,15	0,12
Nº200	0,075	0,12
BASE	-	0,12

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 205 Curva granulométrica agregado grueso (gravilla)



Fuente: Elaboración propia

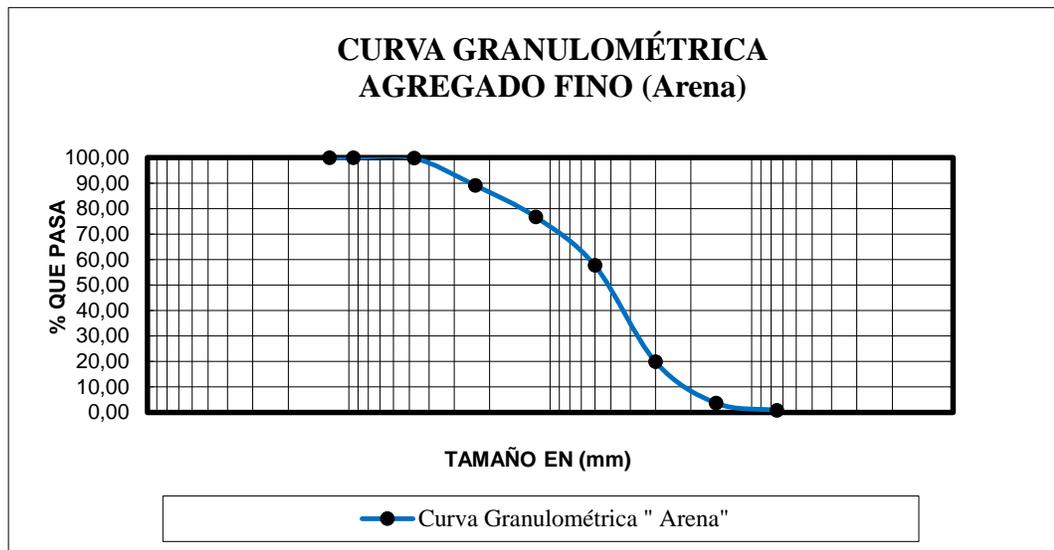
GRANULOMETRÍA - AGREGADO FINO (Arena)

TABLA 3.11 Resultado de granulometría de agregado fino

<i>Tamices</i>	<i>tamaño(mm)</i>	<i>% que pasa del total</i>
1/2	12,5	100,00
0,375	9,5	100,00
N°4	4,75	99,86
N°8	2,36	89,14
N°16	1,18	76,72
N°30	0,6	57,69
N°50	0,3	19,90
N°100	0,15	3,67
N°200	0,075	0,79
BASE	-	0,05

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 216 Curva granulométrica agregado fino



Fuente: Elaboración propia

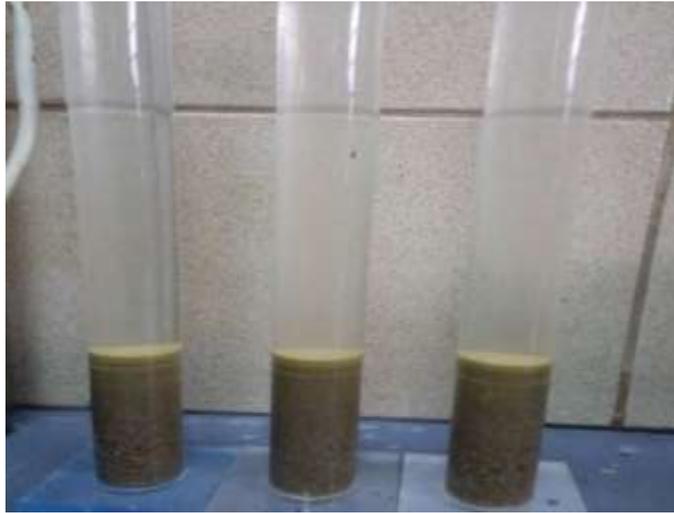
6.3.3.2 Método para determinar el equivalente de arena (DESIGNACIÓN ASTM: D2419)

El equivalente de arena está definido como el porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculantes, partículas arcillosas. Este método cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, fracción gruesa, denominando su proporción volumétrica como equivalente de arena.

Establece un procedimiento rápido para determinar la proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por el tamiz de 4.75 mm (N°4).

Tiene como objetivo 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 su contenido de finos indeseables de naturaleza plástica.

FIGURA 3. 27 Determinación del equivalente de arena



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

$$E. A. = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

<i>Equivalente de Arena (%)</i>	<i>NORMA</i>
94,92	> 50%

Fuente: Elaboración propia

6.3.3.3 Determinación del desgaste mediante la máquina de los Ángeles. (DESIGNACIÓN ASTM: C 131) (AASHTO T96)

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.5 mm, mediante la máquina de los ángeles.

Este ensayo es para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, planos de cristalización, forma de las partículas, cuyo objetivo es determinar la dureza de los materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas, carpetas por riegos, riegos de sello, material de balasto, etc.

FIGURA 3.28 Máquina de los ángeles



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 29 Material que se obtuvo después del uso de la máquina de los ángeles y que será tamizada en el tamiz # 12



Fuente: Elaboración propia

RESULTADO

Tabla 3.12 Tabla según el tamaño de material que se tenía

GRADACIÓN		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25	2500±10 2500±10		
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10			
1/2"	3/8"	1250±10			
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
PESO TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N°DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACION		30	15	15	15

Fuente: Elaboración propia

GRADACIÓN B	
TAMIZ	PESO RETENIDO
1/2"	2500,9
3/8"	2500,5

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{P_{INICIAL} - P_{FINAL}}{P_{INICIAL}} * 100$$

TABLA 3.13 Resultados obtenidos a través del método para determinación del desgaste

MATERIAL	PESO INICIAL	PESO FINAL OBTENIDO AL TAMIZAR EL MATERIAL POR EL TAMIZ # 12	% DE DESGASTE	ESPECIFICACION ASTM
A				35% MAX
B	5001,4	3832,6	23,37	35% MAX
C	-	-	-	35% MAX
D	-	-	-	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

6.3.3.4 Método para determinar los pesos específicos pétreos por el método del cesto.

Este método tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.

FIGURA 3.30 pesaje del material retenido en el tamiz n°4



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.31 material sumergido en agua en un periodo de 24 horas



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 23 Muestra saturada con superficie seca



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 223 Muestra saturada dentro del agua y uso del cesto



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

PESO ESPECÍFICO - AGREGADO GRUESO (Grava)

TABLA 3.14 Resultados peso específico del agregado grueso

PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABSORCIÓN
2,59	2,62	2,66	0,97

Fuente: Elaboración propia

PESO ESPECÍFICO - AGREGADO GRUESO (Gravilla)

TABLA 3.15 Resultados peso específico del agregado grueso (gravilla)

PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABSORCIÓN
2,65	2,72	2,85	2,58

Fuente: Elaboración propia

6.3.3.5 Método para determinar el peso específico y absorción del agregado fino

Este método tiene como objetivo determinar el peso específico aparente y peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

FIGURA 3. 244 Muestra sumergida en agua 24 horas



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 26 Verificación de la condición de la muestra saturada con superficie seca



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 278 contenido del matraz que será secada en el horno



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 35 secado superficial con secadora



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 257 matraz + agua + muestra



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3.39 Obtención del peso de la muestra seca



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

TABLA 3.16 Resultados peso específico del agregado grueso (gravilla)

P. E. A GRANEL (gr/cm ³)	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm ³)	P. E. APARENTE (gr/cm ³)	% DE ABSORCIÓN
2,25	2,30	2,35	1,78

Fuente: Elaboración propia

6.3.3.6 Peso unitario de los agregados (DESIGNACIÓN ASTM: C 29 M) (AASHTO T 19)

El peso unitario de los agregados fino y grueso tiene como objetivo describir el peso unitario de la medida de agregados a la temperatura ambiente.

El peso unitario es el peso de la unidad de volumen de material a granel en las condiciones de compactación y humedad en que se efectúa el ensayo

FIGURA 3.40 Compactación para la obtención del peso unitario de los agregados



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 3. 281 Peso del material compactado



Fuente: Elaboración propia

PESO UNITARIO - AGREGADO GRUESO

PESO UNITARIO SUELTO

PESO UNITARIO COMPACTADO

TABLA 3.17 Resultados peso unitario del agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)
1,397
1,392
1,394
1,394

Fuente: Elaboración propia

PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm ³)
1,503
1,505
1,515
1,507

Fuente: Elaboración propia

PESO UNITARIO - AGREGADO GRUESO (GRAVILLA)

PESO UNITARIO SUELTO

PESO UNITARIO COMPACTADO

TABLA 3.18 Resultados peso unitario del agregado grueso (gravilla)

PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)
1,419
1,436
1,386
1,414

Fuente: Elaboración propia

PESO UNITARIO COMPACTADA (gr/cm ³)
1,524
1,529
1,534
1,529

Fuente: Elaboración propia

PESO UNITARIO - AGREGADO FINO

PESO UNITARIO SUELTO

PESO UNITARIO COMPACTADO

TABLA 3.19 Resultados peso unitario del agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)
1,511
1,532
1,524
1,522

Fuente: Elaboración propia

PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm ³)
1,647
1,654
1,662
1,655

Fuente: Elaboración propia

EVCAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DOSIFICACIÓN

10.1 Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall

10.1.1 Metodología

El método de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100”) que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

10.1.2 Procedimiento e instrumentos para la realización del diseño Marshall

El siguiente procedimiento será aplicado solamente a mezclas asfálticas en caliente para calcular en contenido óptimo de cemento asfáltico, preparadas con cemento asfáltico y agregados no mayores de 2.54 cm (1 pulg.), el diámetro del molde Marshall será de 101.6 mm (4 pulg.). Cuando el tamaño de la partícula excede los 2.5 cm (1 pulg.) se emplean moldes de 152.4 mm (6 pulg.), este procedimiento no es aplicable a ese tipo de muestras.

1. *Molde de Compactación.* Consiste de una placa de base plana, molde y collar de extensión cilíndricos. El molde tiene un diámetro interior de 101.6 mm (4") y altura aproximada de 76.2 mm (3"); la placa de base plana y el collar deben ser intercambiables.
2. *Martillo de compactación* con base plana circular de apisonado de 98.4 mm (3 7/8") de diámetro, equipado con un pisón de 4.54 kg (10 lb.) de peso total, cuya altura de caída es de 457.2 mm (18").
3. *Extractor de Muestras de Asfaltos.* Para extraer el espécimen del molde, en forma de disco con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (1/2") de espesor.
4. *Soporte para molde o portamolde.* Dispositivo con resorte de tensión diseñado para sostener rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal.
5. *Mordaza.* Consiste de dos semi-cilindros, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") de acero enchapado para facilitar su fácil limpieza. El segmento inferior termina en una base plana con dos varillas perpendiculares que sirven de guía.
6. *Medidor de deformación.* Consiste en un deformímetro dividido en centésimas de milímetro. Estará sujeto al segmento superior y cuyo vástago se apoyará, cuando se realiza el ensayo, en una palanca ajustable acoplada al segmento inferior. Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.
7. *Prensa.* Para llevar a la falla a la muestra, será mecánica con una velocidad uniforme de 50.8 mm/min.
8. *Medidor de Estabilidad.* La resistencia de la probeta en el ensayo se medirá con un anillo dinamométrico acoplado a la prensa, de 20 kN (2039 kgf) de capacidad, con una sensibilidad de 50 N (5 kgf) hasta 5 kN (510 kgf) y 100 N (10 kgf) hasta 20 kN (2 039 kgf). Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.
9. *Discos de Papel Filtrante de 4 pulg.*

10. *Horno*. Horno capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C (5 °F) se emplea para calentar los agregados, material asfáltico, conjunto de compactación y muestra.

11. *Baño*. El baño de agua con 150mm (6”) de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a 60° ± 1 °C (140° ± 1.8 °F), deberá tener un falso fondo perforado o estar equipado con un estante para mantener las probetas por lo menos a 50.8 mm (2”) sobre el fondo del tanque.

12. *2 Recipientes* de dos litros de capacidad para calentar los agregados y para mezclar el asfalto y agregado.

13. *Tamices*. 25 mm (1”), 19.0 mm (3/4”), 12.5 mm (1/2”), 9.5 mm (3/8”), 4.75 mm (N° 4), 2.36 mm (N° 8), 300 µm (N° 50) y 75 µm (N° 200).

14. *Termómetros blindados*. De 10°C a 232°C (50°F a 450°F) para determinar las temperaturas del asfalto, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3°C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará termómetro con escala de 20°C a 70°C y sensibilidad de 0.2°C (68°F a 158°F + 0.4°F).

15. *Balanza*. Para pesar agregado y asfalto de 5 kg. De capacidad, y sensibilidad de un 1 gr. Para pesar probetas compactadas de 2 kg. De capacidad y sensibilidad de 0.1 gr

10.1.3 Márgenes aceptables de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa

La Tabla presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control.

Tamaño de Tamiz	Designación de la Mezcla usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregado				
	37.5 mm (1 1/2 in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)
	Porcentaje Total que Pasa (en peso)				
50 mm (2 in.)	100	—	—	—	—
37.5 mm (1 1/2 in.)	90 to 100	100	100	—	—
25.0 mm (1 in.)	—	90 to 100	100	—	—
19.0 mm (3/4 in.)	56 to 80	—	90 to 100	100	—
12.5 mm (1/2 in.)	—	56 to 80	—	90 to 100	100
9.5 mm (3/8 in.)	—	—	56 to 80	—	90 to 100
4.75 mm (No. 4)	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85
2.36 mm (No. 8)*	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67
1.18 mm (No. 16)	—	—	—	—	—
0.60 mm (No. 30)	—	—	—	—	—
0.30 mm (No. 60)	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23
0.15 mm (No. 100)	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)**	0 to 5	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10
Cemento Asfáltico, porcentaje en peso del total de la mezcla*	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12

Fuente: Construcción de pavimentos. Serie de manuales No.22 (MS-22)

10.1.4 Curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica para el diseño Marshall

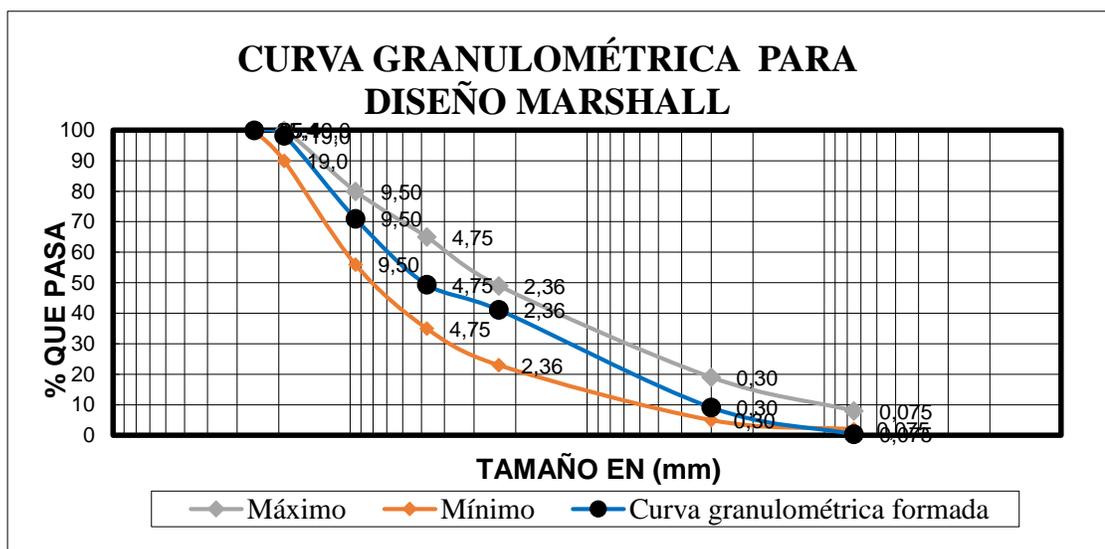
La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica.

TABLA 4. 1 Selección de curva granulométrica para el diseño de mezclas asfálticas densas

Tamices	tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Arena	Grava	Gravilla	Arena	TOTAL	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Especificaciones	
		Peso Ret 5000 gr	Peso Ret 5000 gr	Peso Ret 5000 gr	al 0,30	al 0,24	al 0,46	Peso Ret 1				Mínimo	Máximo
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	304,50	0,00	0,00	91,35	0,00	0,00	91,35	91,35	1,83	98,17	90	100
1/2"	12,5	3422,90	0,00	0,00	1026,87	0,00	0,00	1026,87	1118,22	22,38	77,62	-	-
3/8"	9,50	1028,00	93,00	0,00	308,40	22,32	0,00	330,72	1448,94	28,99	71,01	56	80
Nº4	4,75	243,10	4183,70	7,20	72,93	1004,088	3,31	1080,33	2529,27	50,61	49,39	35	65
Nº8	2,36	0,00	696,70	535,80	0	167,208	246,47	413,68	2942,95	58,89	41,11	23	49
Nº16	1,18	0,00	20,80	620,90	0	4,992	285,61	290,61	3233,55	64,70	35,30	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,60	951,70	0	0,144	437,78	437,93	3671,48	73,47	26,53	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	1889,60	0	0	869,22	869,22	4540,69	90,86	9,14	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	811,90	0	0	373,47	373,47	4914,17	98,33	1,67	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	143,70	0	0	66,10	66,10	4980,27	99,65	0,35	2	8
BASE	-	0,90	0,00	37,00	0,27	0	17,02	17,29	4997,56	100,00	0,00	-	-
SUMA		4999,4	4994,8	4997,8	1499,82	1198,752	2298,988	4997,6					
PÉRDIDAS		0,6	5,2	2,2									

Fuente: elaboración propia

FIGURA 4. 1 Curva granulometrica en funcion al tamaño monimal y el de las lineas de control



Fuente: Elaboración propia

10.1.5 Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas. Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

TABLA 4. 2 Criterios de diseño de mezclas Marshall

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		carpeta y base		carpeta y base	
Criterio de mezcla	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad, (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750	----	1200	----	1800	----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver Tabla 2.2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Asphalt Institute MS-22

TABLA 4. 3 Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8.	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2.	13.0	14.0	15.0
19	3/4.	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

Fuente: Asphalt Institute MS-22

10.1.6 Procedimiento de ensayo realizado en laboratorio

En este caso se optó por realizar un análisis con 5 porcentajes que estarán en análisis. Donde la temperatura de mezclado será a 150 °C, con ese grado de color se realizaran las briquetas que serán un total de 3 briquetas por porcentaje en estudio. Cuyos porcentajes y contenidos analizados son los siguientes:

10.1.6.1 Cantidad de cemento asfáltico y agregado pétreo analizados

TABLA 4.4 Cantidad de cemento asfáltico y agregado pétreo utilizado para obtener el porcentaje de cemento asfáltico óptimo

Porcentaje de agregado pétreo (%)	Porcentaje de cemento asfáltico (%)	peso grava (gr)	peso gravilla (gr)	peso arena (gr)	peso del ligante (gr)
95,5	4,5	358,1	286,5	549,1	56,25
95	5	356,3	285	546,3	62,5
94,5	5,5	354,4	283,5	543,4	68,75
94	6	352,5	282	540,5	75
93,5	6,5	350,6	280,5	537,6	81,25
93	7	348,8	279	534,8	87,5

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se procedió a:

FIGURA 4. 2 Mezclado constante hasta alcanzar la temperatura deseada



Fuente: Elaboración propia

Verter la mezcla en los moldes Marshall, en tres capas, las dos primeras con 25 varillasas para el acomodo y la tercera con 75 golpes con el martillo; dar la vuelta de cara y aplicar otros 75 golpes.

FIGURA 4. 3 Elaboración de briquetas por el método Marshall



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 4 Compactación con martillo con 75 golpes por cara



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 5 desmoldado de briquetas después de un reposo mínimo de 2 horas



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

10.1.7 Determinación de la cantidad de la densidad, estabilidad y fluencia Marshall

Previo a los ensayos Marshall, se debe determinar la altura de las briquetas para un factor de corrección que se aplica cuando no cumple con lo establecido en la norma. Se hizo la lectura de 4 alturas para promediar, ya que las briquetas no tienen una altura pareja, por desvío del martillo compactador al realizarlo manualmente.

10.1.7.1 Determinación de la densidad

FIGURA 4. 6 Pesaje de cada briqueta en su estado seco al aire libre



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 7 Briquetas en baño maría a 25°C por un mínimo de 10 min



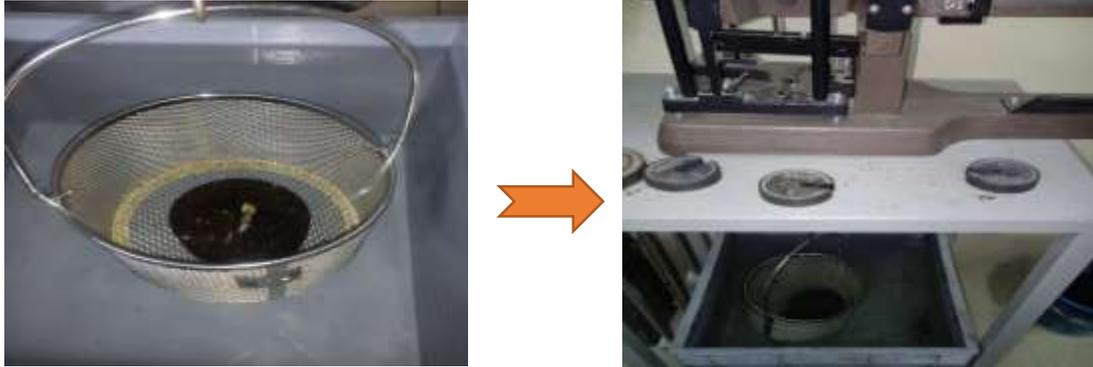
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 8 Pesaje de briquetas saturadas con superficie seca



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 9 Determinación del peso sumergido en el agua



Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

10.1.7.2 Determinación de la estabilidad y fluencia

FIGURA 4. 10 Briquetas en baño maria a 60°C por 35 minutos



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 11 Colocado de briquetas en aparato Marshall



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 12 Lectura del dial de estabilidad (dentro del anillo de Marshall) y el dial de deformación para el flujo



Fuente: Elaboración propia

10.1.8 Resultados de la práctica

TABLA 4.5 Peso específico de los agregados

Agregado	P.E.	%
Grava	2,66	30
Gravilla	2,85	24
Arena	2,35	46
Filler	0	0

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.6 Peso específico del ligante asfáltico

NUMERO DE GOLPES 75	
CEMENTO ASFALTICO BETUNEL 85-100	
PESO ESPECIFICO DEL LIGANTE AASHTO T-228	1,0090

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.7 Peso específico total

PESOS ESPECÍFICOS		% de agregado
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2,74	54
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2,35	46
Peso Específico Total	2,66	100

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.8 Tabla de resultados obtenidos de la práctica por el método Marshall

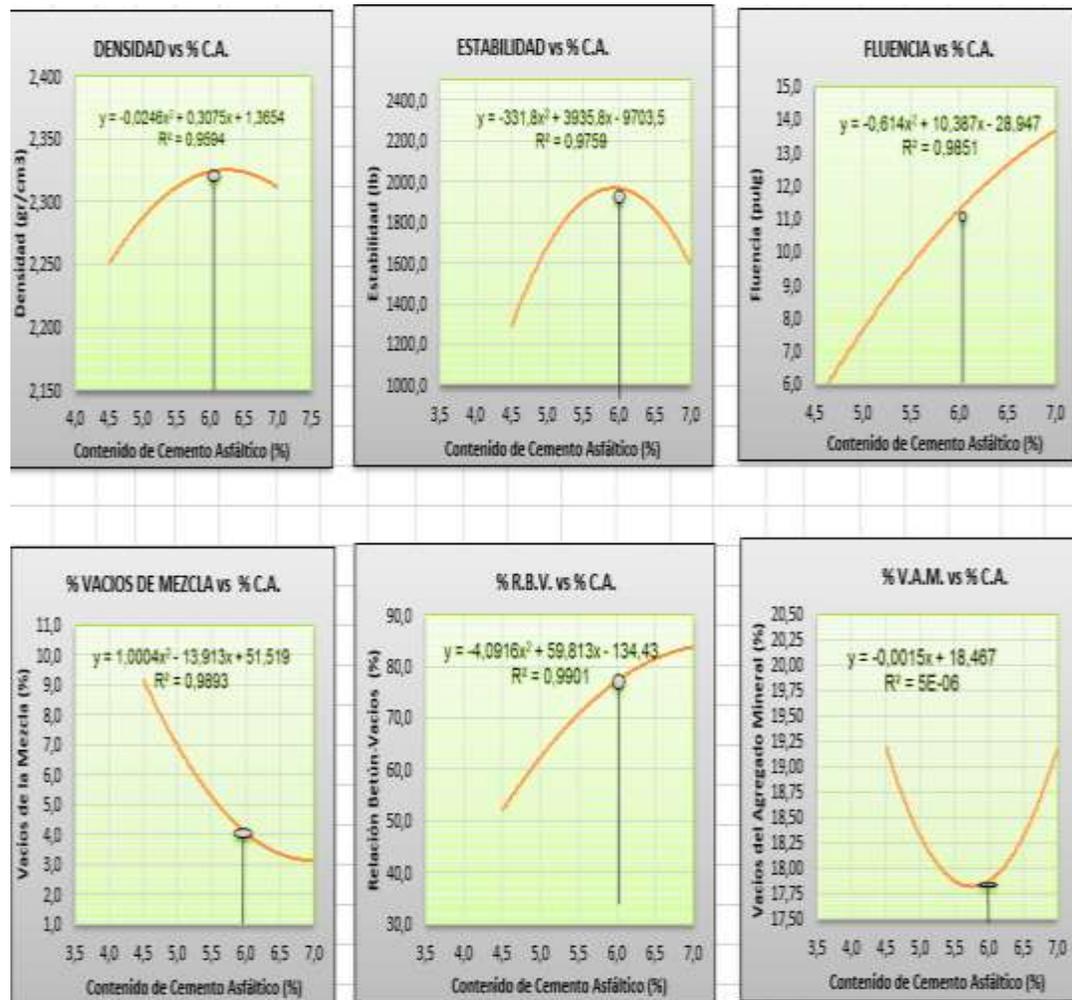
Nº de probeta	altura de probeta	% de Asfalt		Peso Briqueta			Volumen probeta	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall					Fluencia		
		base Mezcla	base Agregados	seco	sat. Sup. Seca	sumergida en agua		densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacío agregado mineral)	K.K.V. (relación betumen vacios)	lectura del dial	carga	factor de corrección de altura de	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	fluencia real	Fluencia promedio
		%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm ³	grs/cm ³	grs/cm ³	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	-	-	0,01 pulg
1	6,50			1229,0	1230,2	682	548,2	2,24													
2	6,70	4,50	4,71	1217,2	1218,3	677	541,3	2,25	2,25	2,48	9,00	19,06	52,76	600	1322,76	0,963	1273,157	1274,6	145	0,057	
3	6,60			1220,4	1221,9	685	536,9	2,27						610	1344,806	0,923	1240,584		160	0,063	5,709
4	6,50			1229,3	1230,7	700	530,7	2,32						630	1388,898	0,943	1310,009		130	0,051	
5	6,80	5,00	5,26	1230,2	1231,8	687	544,8	2,26	2,28	2,46	7,28	18,58	60,82	800	1763,68	0,963	1697,542	1702,9	190	0,0748	
6	6,70			1228,6	1230,4	688	542,4	2,27						840	1851,864	0,898	1662,048		180	0,0709	7,09
7	6,90			1221,0	1222,5	702	520,5	2,35						860	1895,956	0,923	1749,019		170	0,0669	
8	6,80	5,50	5,82	1248,0	1249,4	704	545,4	2,29	2,31	2,44	5,15	17,76	71,03	997	2197,986	0,877	1927,414	1894,2	200	0,0787	
9	7,00			1230,5	1231,6	699	532,6	2,31						980	2160,508	0,898	1939,056		250	0,0984	9,45
10	6,80			1246,0	1247,9	705	542,9	2,30						960	2116,416	0,858	1816,097		270	0,1063	
11	6,70	6,00	6,38	1228,6	1229,4	704	525,4	2,34	2,32	2,42	4,19	17,99	76,73	1000	2204,6	0,898	1978,629	2008,3	270	0,1063	
12	6,90			1233,2	1234,5	705	529,5	2,33						1020	2248,692	0,923	2074,418		310	0,1220	11,55
13	6,60			1234,4	1235,4	700	535,4	2,31						1020	2248,692	0,877	1971,878		300	0,1181	
14	6,70	6,50	6,95	1230,0	1231,2	697	534,2	2,30	2,33	2,40	3,02	18,04	83,27	900	1984,14	0,943	1871,441	1793,6	320	0,1260	
15	6,80			1231,5	1232,9	717	515,9	2,39						850	1873,91	0,923	1728,682		340	0,1339	12,99
16	6,60			1220,4	1221,3	695	526,3	2,32						900	1984,14	0,898	1780,766		330	0,1299	
17	6,70	7,00	7,53	1224,1	1225,6	690	535,6	2,29	2,31	2,39	3,32	19,33	82,81	808,4	1782,199	0,943	1680,97	1617,7	350	0,1378	
18	6,90			1215,4	1216,4	692	524,4	2,32						800,6	1765,003	0,923	1628,215		340	0,1339	13,39
ESPECIFICACIONES				minimo						3	13	75				1800				8	
				maximo						5	-	82				-				16	

Fuente: Elaboración propia

CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO	DENSIDAD PROMEDIO (gr/cm ³)	ESTABILIDAD (libra)	FLUENCIA (pulg)	% DE VACIOS DE MEZCLA TOTAL (%)	R.B.V. (RELACIÓN BETÓN/VACIOS) (%)	V.A.M. (VACIOS DE AGREGADO MINERAL) (%)
4,5	2,255	1274,58	5,71	9,00	52,76	19,06
5,0	2,280	1702,87	7,09	7,28	60,82	18,58
5,5	2,315	1894,19	9,45	5,15	71,03	17,76
6,0	2,321	2008,31	11,55	4,19	76,73	17,99
6,5	2,332	1793,63	12,99	3,02	83,27	18,04
7,0	2,307	1617,68	13,39	3,32	82,81	19,33
X	6,250	5,931	1,25	6,03	5,81	1,26
Y máx	2,32634	1968,081	5,201	3,999	74,967	26,238

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 13 Graficas generadas para verificación y obtención del contenido de cemento asfáltico optimo



Fuente: Elaboración propia

10.1.9 Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico

El contenido óptimo de cemento asfáltico en una mezcla depende en gran medida de las características del agregado como la graduación y absorción.

Es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con espesor suficiente para resistir los elementos de intemperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad. En las mezclas asfálticas es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tan que sea suficiente de resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie.

TABLA 4.9 Tabla de resultado del porcentaje óptimo de cemento asfáltico

	<i>Ensayo</i>	<i>Valor de Diseño</i>	<i>% de C.A.</i>
<i>DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO</i>	<i>Estabilidad Marshall (Lb)</i>	<i>1968,081</i>	<i>5,93</i>
	<i>Densidad máxima (gr/cm³)</i>	<i>2,326</i>	<i>6,25</i>
	<i>relacion betun vacios</i>	<i>74,967</i>	<i>5,81</i>
	<i>Vacios de la mezcla (%)</i>	<i>4,000</i>	<i>6,03</i>
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio =	6,01

Fuente: Elaboración propia

10.2 Recapamiento de carpeta asfáltica existente

10.2.1 Riego de liga entre carpetas asfálticas

Este trabajo consistirá en la colocación de una capa de concreto asfáltico de 5 cm de espesor como mínimo, sobre una carpeta asfáltica existente.

Para realizar este trabajo se consideró los siguientes parámetros:

El riego de liga será aplicado sobre la superficie vieja existente, este riego de liga será colocado con una anticipación de 12 horas a la colocación de la carpeta asfáltica nueva.

Se utilizara asfalto diluido de curación rápida RC-70 cuyo fluidificante es la gasolina con un dosaje de 0.5 litros por metro cuadrado cuya longitudes de riego de liga será conforme al área que se desea realizar.

El riego de liga se aplicara solamente cuando la superficie asfáltica a tratarse este seca, limpia y preparada, cuando la temperatura del ambiente sea la adecuada.

TABLA 4.10 Dosaje de riego de liga a utilizar

<i>TIPO</i>	<i>% ASFALTO</i>	<i>% SOLVENTE</i>	<i>RIEGO ° C</i>
<i>CURADO RAPIDO RC-70</i>	53	37	70-80

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 14 Cemento asfaltico y gasolina para curado rápido



Fuente: Elaboración propia

10.2.2 Cálculos necesarios para preparación del riego de liga

10.2.2.1 Cantidad de cemento asfaltico y gasolina en 0.5 litros por metro cuadrado

❖ CANTIDAD DE RIEGO DE LIGA EN LITROS PARA LA MUESTRAS:

Dosaje 0,5 litros por metro cuadrado (curación rápida RC-70)

$$0,5\text{ts} \text{-----} 100\%$$

$$x \text{-----} 63\% \text{ cemento Asfaltico}$$

$$x = \frac{0.5 * 63}{100} = 0,315 \text{ ts}$$

$$0,5\text{ lts} \text{ _____ } 100\%$$

$$x \text{ _____ } 37\% \text{ gasolina}$$

$$x = \frac{0,5 * 63}{100} = 0,185 \text{ lts}$$

❖ **PORCENTAJE PARA EL SOLVENTE Y EL CEMENTO ASFÁLTICO DEL TOTAL DE RIEGO DE LIGA**

% de cemento asfáltico = 63% del riego de liga = 0,315 lts

% de solvente = 37% del riego de liga = 0,185 lts

❖ **CANTIDAD DE CEMENTO ASFÁLTICO EN GRAMOS:**

Densidad del cemento asfáltico = $1,009 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$

$$1,009\text{ gr} \text{ _____ } 0,001\text{ lts}$$

$$x \text{ _____ } 0,315\text{ lts}$$

$$x = \frac{1,009 * 0,315}{0,001} = 317.835 \text{ gr}$$

CANTIDAD DE SOLVENTE EN GRAMOS:

Densidad de la gasolina = $0,68 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$

$$0,68\text{ gr} \text{ _____ } 0,001\text{ lts}$$

$$x \text{ _____ } 0,185\text{ lt}$$

$$x = \frac{0,68 * 0,185}{0,001} = 125.8 \text{ gr}$$

10.2.2.2 **Cantidad de curado rápido para un área determinada**

AREA DE LOS DESTIGOS DE PAVIMENTO EXISTENTE:

Diámetro = 10 cm

$$A = \frac{\pi * 0,10}{4} = 0,008 \text{ m}^2$$

CANTIDAD DE RIEGO DE LIGA EN LITROS PARA LA MUESTRAS:

Dosaje 0,5 litros por metro cuadrado (curación rápida RC-70)

$$0,5\text{ lts} \text{ _____ } 1\text{ m}^2$$

$$x \text{ _____ } 0,008\text{ m}^2$$

$$x = \frac{0,5 * 0,008}{1} = 0,004 \text{ lts}$$

PORCENTAJE PARA EL SOLVENTE Y EL CEMENTO ASFÁLTICO DEL TOTAL DE RIEGO DE LIGA

% de cemento asfáltico = 63% del riego de liga = $0,63 * 0,004 = 0,00252$ lts

% de solvente = 37% del riego de liga = $0,37 * 0,004 = 0,00148$ lts

CANTIDAD DE CEMENTO ASFÁLTICO EN GRAMOS:

Densidad del cemento asfáltico = $1,009 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$

$$1,041\text{ gr} \text{ _____ } 0,001\text{ lts}$$

$$x \text{ _____ } 0,00252\text{ lts}$$

$$x = \frac{1,009 * 0,00252}{0,001} = 2,54 \text{ gr}$$

CANTIDAD DE SOLVENTE EN GRAMOS:

Densidad de la gasolina = $0,68 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$

$$0,68\text{ gr} \text{ _____ } 0,001\text{ lts}$$

$$x \text{ _____ } 0,00148\text{ lts}$$

$$x = \frac{0,68 * 0,00148}{0,001} = 1006\text{ gr.}$$

TOTAL DE MEZCLA DE CURADO RÁPIDO A UTILIZAR:

$$TOTAL = 2.54 + 1.006 = 3.546\text{ gr.}$$

ESQUEMA 4. 1 elaboración del curado rápido y colocado en núcleos extraídos

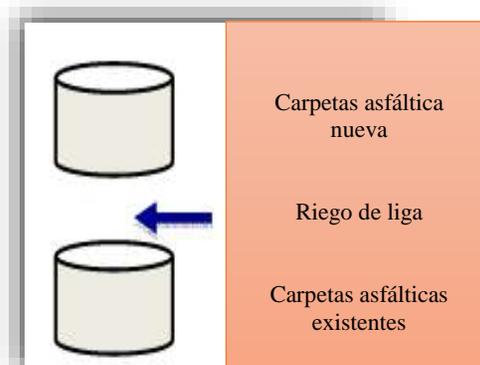


Fuente: Elaboración propia

10.3 Carpeta asfáltica nueva

La carpeta asfáltica nueva se colocó después de un periodo de 12 horas a la colocación del riego de liga, la cual contiene el porcentaje de cemento asfáltico óptimo calculado anteriormente que cumple diferentes características y especificaciones para una mezcla asfáltica de granulometría densa, con un número de 150 golpes aplicados a una temperatura de 150°C sobre la carpeta asfáltica existente.

FIGURA 4.19 estructura carpeta + riego + sobrecarpeta



Fuente: Elaboración propia

ESQUEMA 4. 2 Proceso de colocación de la sobrecarpeta



FIGURA 4. 20
Carpeta asfáltica existente con riego de liga que estuvo durante 12 horas



FIGURA 4. 21
Colocado de la carpeta asfáltica para proceder a la compactación de la sobrecarpeta



FIGURA 4. 22
Preparación de sobre carpeta a 150 ° C



FIGURA 4. 23
Testigo realizado a 150 goles sobre carpeta asfáltica existente



FIGURA 4. 24
Adherencia entra carpeta asfáltica existente y sobre carpeta

Fuente: Elaboración propia

10.4 Evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

La adherencia final conseguida entre capas depende no sólo de cómo se haya realizado el riego, si no que la dosis sea la apropiada y se haya adherido bien a la capa inferior, también de como se ha ejecutado la nueva capa o sobrecarpeta, aunque durante la fase de construcción, esta propiedad apenas se controla, y no se verifica la calidad final conseguida en la adherencia de las capas, que es lo que en realidad se debería medir y se realizara y evaluara a continuación.

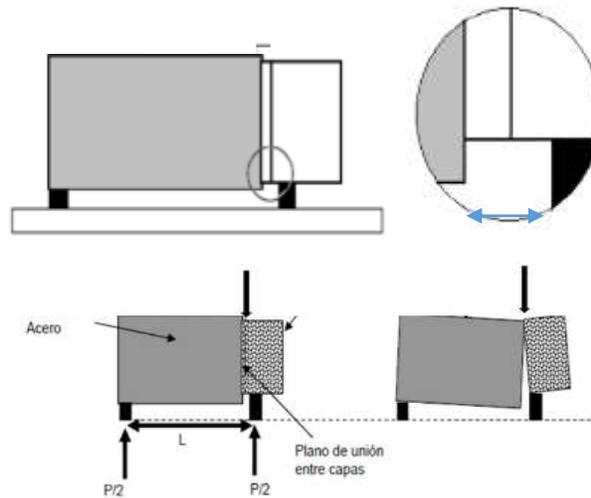
10.4.1 Método de evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

Para evaluar el grado de adherencia entre dos capas asfálticas se ha desarrollado fundamentalmente **el ensayo de corte LCB** (Laboratorio de Caminos de Barcelona), cuyo método permite determinar el esfuerzo cortante necesario para separar las dos carpetas como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas. Este ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la adherencia entre carpetas asfálticas el cual consta de un testigo cilíndrico que se somete a un esfuerzo cortante

puro midiéndose de forma continua tanto la carga aplicada como la deformación producida.

FIGURA 4. 25 testigo cilíndrico sometido a un esfuerzo cortante

“ensayo de corte LCD”



Fuente: Elaboración propia

10.4.2 Aparatos y material necesario

10.4.2.1 Prensa

Prensa de compresión, de funcionamiento mecánico que pueda proporcionar una carga y una velocidad uniforme de desplazamiento durante la aplicación de la carga.



Fuente: Elaboración propia

10.4.2.2 Calibrador

Para medir con precisión el diámetro de los testigos de ensayo.

10.4.2.3 Dispositivo de corte

El dispositivo de aplicación de carga debe producir un esfuerzo cortante de la interfaz de las dos capas ensayadas que se describe a continuación: Consiste en una mordaza cilíndrica desmontable en dos mitades, según un plano de corte a dos generatrices opuestas en la que se introduce el testigo de ensayo. La mordaza debe tener un diámetro interior de 101.6 o 150 mm y esta provista de un sistema de cierre mediante tornillos u otro procedimiento adecuado, que mantenga el testigo firmemente sujeto en su interior, tal como se muestra en la figura. La interfaz del testigo debe sobresalir 5 mm del extremo de la mordaza. Una vez dispuesto el testigo dentro de la mordaza y cerrada esta, se coloca el conjunto en posición horizontal sobre una base con dos puntos de apoyo separados 188 mm. La separación de la interfaz del testigo y el punto de apoyo más cercano a dicha interfaz será también de 5 mm. El punto de aplicación de la carga estará en una posición equidistante de los dos puntos de apoyo del conjunto, el cual actúa por tanto como una viga biapoyada, donde la sección de ensayo, al estar muy próxima al punto de apoyo, solo está sometida a esfuerzo cortante.

FIGURA 4. 26 Dispositivo de corte



Fuente: Elaboración propia

10.4.3 METODOLOGÍA DE ENSAYO

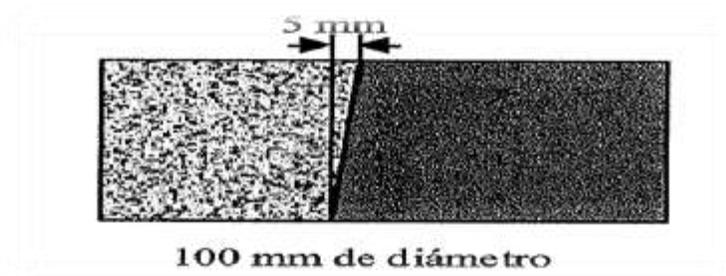
Aunque las dimensiones de los testigos no son características privativas del ensayo. Se utilizaron preferentemente los de 100 mm de diámetro.

10.4.3.1 Testigos.

Los testigos presentan un diámetro constante en toda su longitud y las superficies laterales no presentaran irregularidades que puedan impedir su adecuada colocación en el dispositivo de ensayo.

La interfaz entre las dos capas será perpendicular al eje longitudinal del testigo, siendo 5 mm la desviación máxima aceptable respecto del plano normal a dicho eje para testigos de 100 mm, tal como se indica en la figura los testigos con desviación mayores no podrán utilizarse en este ensayo, así como aquellos en los que el espesor de alguna de las capas sobre las que se realice el ensayo sea inferior a 25 mm.

FIGURA 4. 27 Desviación máxima aceptable



Fuente: Elaboración propia

10.4.3.2 Medida del diámetro de los testigos

Con calibrador se realizan dos mediciones del diámetro de cada testigo con precisión de 0.1 mm, en ambas secciones paralelas situadas próximas y a ambos lados de la interfaz de las capas se determina el promedio.

Con este diámetro medio se calculara la superficie de la sección transversal (S) mediante la expresión:

$$S = \pi \cdot d^2 / 4$$

10.4.3.3 Acondicionamiento térmico de los testigos

Una vez que se han extraído los testigos de la probeta de las capas, se los mantiene a temperatura ambiente 20° C un mínimo de 12 horas.

Seguidamente el testigo debe ser colocado de tal forma que la marca quede a 10 mm de cada borde de la mordaza metálica y se fijan los pernos del molde.

FIGURA 4. 28 Colocado del testigo en la mordaza



Fuente: Elaboración propia

10.4.4 Proceso de ejecución para el ensayo de corte LCD

Los testigos se someten a la evaluación a temperatura ambiente y se actúa inmediatamente en el dispositivo de corte en la posición adecuada, ajustando la brida de sujeción o colocando y asegurando firmemente la mitad superior de la mordaza, aplicando la carga sobre el dispositivo con la ayuda de un dial para medir la deformación y carga de cada testigo hasta alcanzar su rotura.

*FIGURA 4. 29 testigo sometido a evaluación de adherencia a través de
Ensayo de corte LCD*



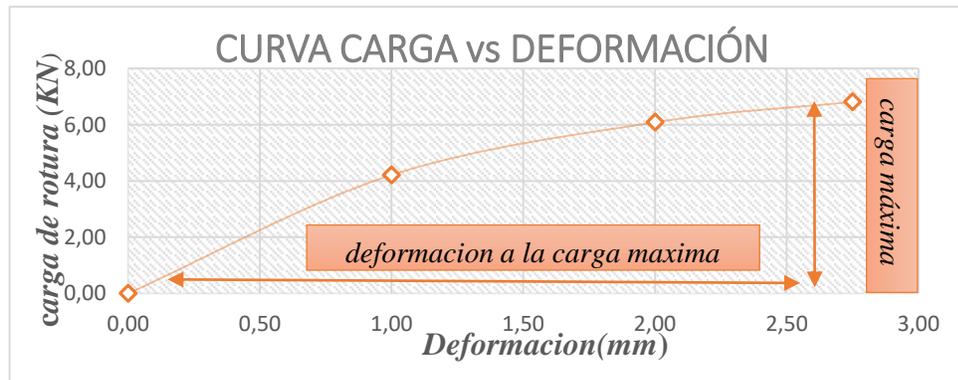
Fuente: Elaboración propia

Durante el ensayo se registran los valores de la carga y del desplazamiento producido a intervalos de 1 mm hasta la falla o separación de las capas donde la interfaz se sitúa sobresaliendo 10 mm del extremo de la mordaza y a una distancia de otro 10 mm del

extremo de la mordaza cerrada y a una distancia de otros 10 mm respecto del punto sobre el que se apoya el testigo.

Donde a continuación podremos obtener un gráfico típico de ensayo de corte en el que se indica la carga máxima y la deformación producida por dicho valor de carga máxima.

FIGURA 4. 30 Carga máxima vs deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 31 Desplazamiento entre una capa y otra hasta alcanzar la deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

A partir del diagrama de carga- deformación de casa testigo ensayado se determinaran las siguientes magnitudes:

- ❖ Carga máxima de rotura, F_{max} , expresada en N.
- ❖ Resistencia a esfuerzo cortante T_c , calculada a partir de la carga máxima De rotura mediante la expresión

$$T_c = (F_{m\acute{a}x} / 2) / S$$

Donde:

S: es la superficie de la seccion transversal, en mm^2

T_c : es la resistencia de corte en N/mm^2 (MPa)

Ademas del resultado de adherencia se informara de:

- ❖ Deformacion a la carga maxima , en mm.
- ❖ Origen de la muestra de ensayo: testigo extraido del pavimento y probeta fabricada en laboratorio.
- ❖ Diametro de la muestra de ensayo
- ❖ Temperatura de ensayo en $^{\circ}C$

El procedimiento y resultados se encuentran en el anexo 4

10.4.5 Resultados de la evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

A continuación se describirán los resultados obtenidos de cada testigo que fue evaluado con un total de 22 testigos.

TABLA 4.11 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
1	carpeta nueva	1231	20°C	102	8171.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				100	7853.75	429.43	4212.71	4.21	1	0.26
	riego de liga	3.52				620.61	6088.18	6.09	2	0.38
						694.96	6817.56	6.82	2.75	0.43
	carpeta existente	662								
	total	1896.52	promedio	101	8012.40		máximo	6.82	2.75	0.43

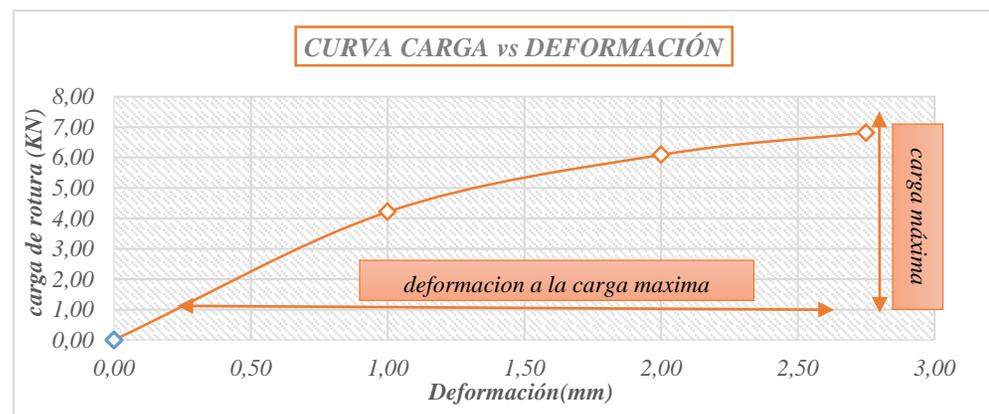
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 32 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 33 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.12 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
2	carpeta nueva	1225	20°C	101	8011,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.5		100	7853,75	609,99	5,98	5,98	1	0,38
						694,96	6,82	6,82	2	0,43
						843,66	8,28	8,28	3,25	0,52
	carpeta existente	673								
total	1901.5	promedio	100,5	7932,68		máximo	8,28	3,25	0,52	

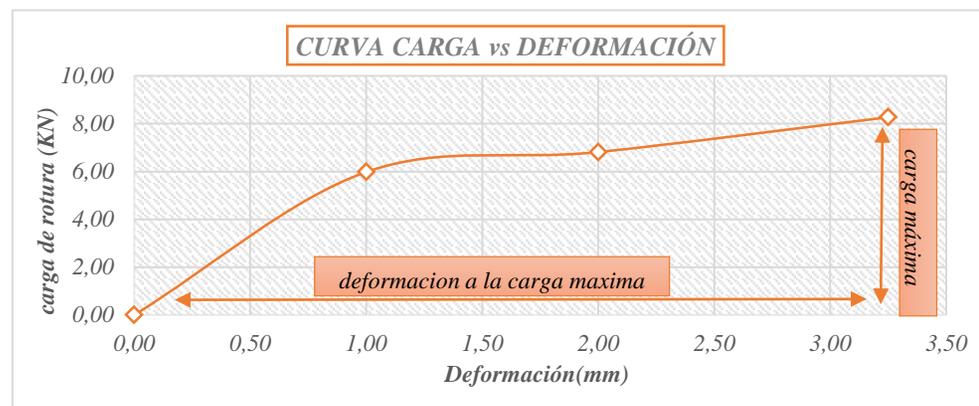
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 34 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 35 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.13 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
3	carpeta nueva	1238	20°C	101	8011,61	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.51		99	7697,460375	323,22	3170,79	3,17	1	0,20
						641,86	6296,65	6,30	2	0,40
						779,93	7651,11	7,65	3,12	0,49
	carpeta existente	571								
total	1812.51	promedio	100	7854,54		máximo	7,65	3,12	0,49	

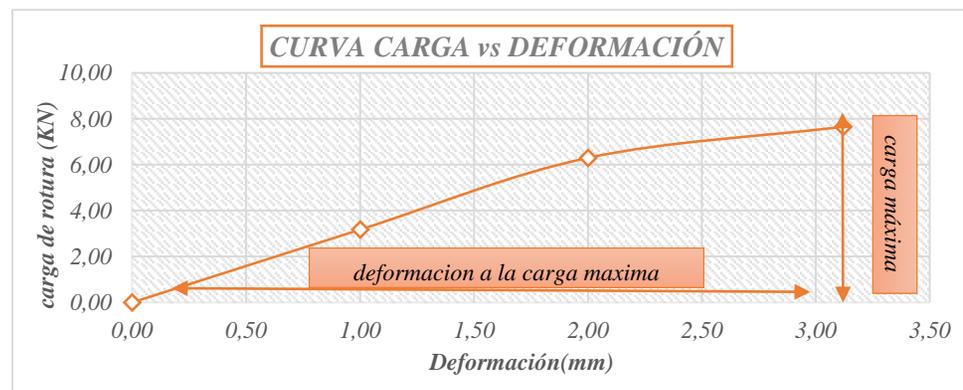
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 36 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 37 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.14 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
4	carpeta nueva	1235	20°C	102	8171,04	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.51		99	7697,460375	620,61	6088,18	6,09	1	0,38
						684,34	6713,38	6,71	2	0,42
						779,93	7651,11	7,65	3,05	0,48
	carpeta existente	681								
total	119.51	promedio	100,5	7934,25		máximo	7,65	3,05	0,48	

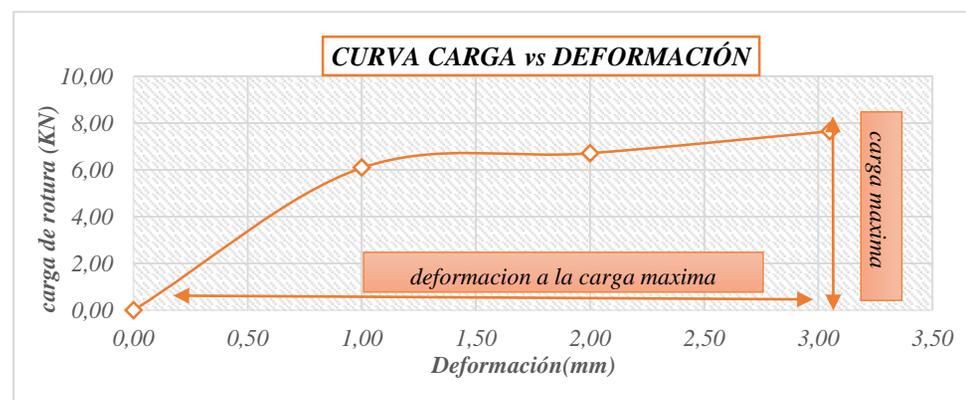
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 38 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 39 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.15 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(*C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm^2)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm^2)(Mpa)
5	carpeta nueva	1236	20°C	100	7853,75	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.51		99	7697,46	408,19	4004,34	4,00	1	0,26
						546,26	5358,81	5,36	2	0,34
						748,07	7338,57	7,34	2,92	0,47
	carpeta existente	662								
total	1901.51	promedio	99.5	1775.61		máximo	7,34	2.92	0,47	

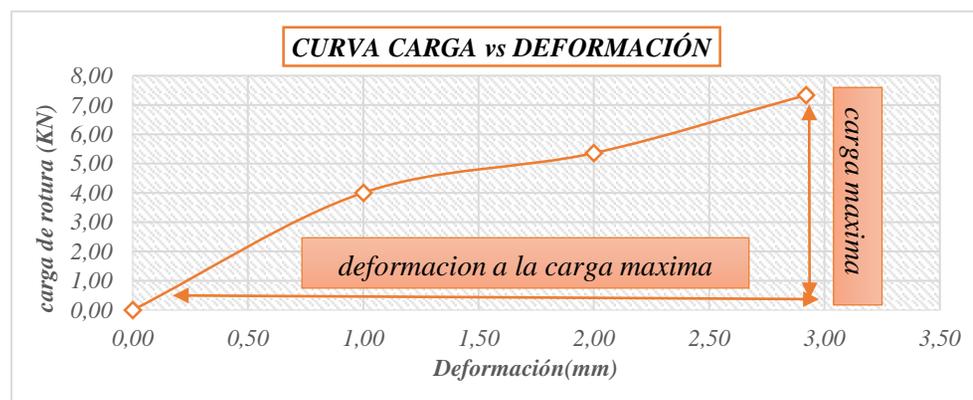
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 40 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 41 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.16 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
6	carpeta nueva	1229	20°C	100	7853,75	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.61		102	8171,04	482.54	4733.72	4.73	1	0,30
						641.86	6296.65	6.30	2	0,39
						790.55	7755.30	7.76	3,25	0,48
	carpeta existente	562.6								
total	1795.21	promedio	101	8012,40		máximo	7.76	3,25	0.48	

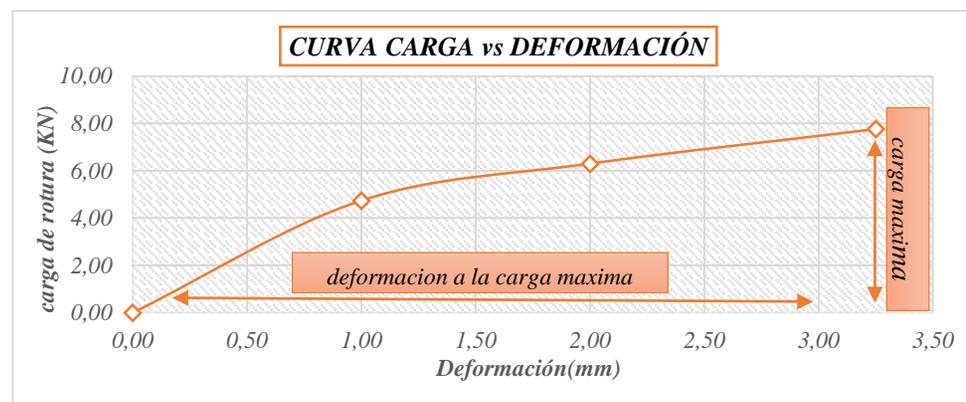
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 42 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. 43 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.17 Tabla de resultados 'Adherencia entre carpetas asfálticas''

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
7	carpeta nueva	1235	20°C	100	7853,75	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.56		102	8171,04	556,88	5462,99	5,46	1	0,34
						971,12	9526,69	9,53	2	0,59
						1066,71	10464,43	10,46	3,85	0,65
	carpeta existente	565.8								
total	1804.36	promedio	101	8012,40		máximo	10.46	3,85	0.65	

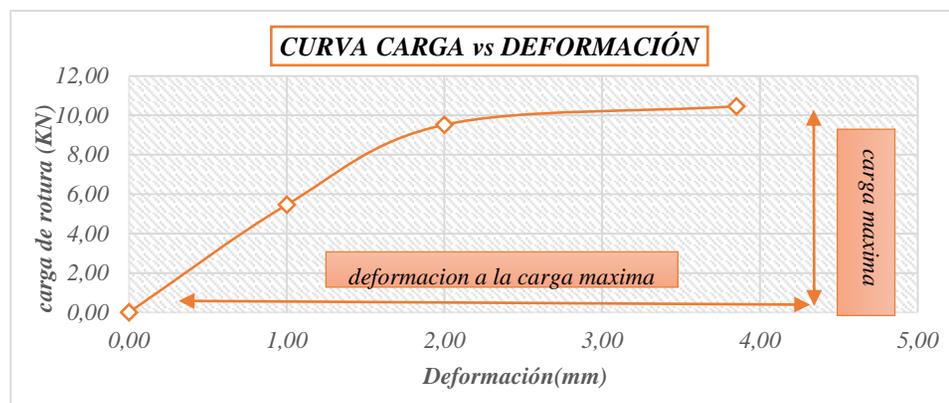
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.44 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.45 Curva carga vs Deformación



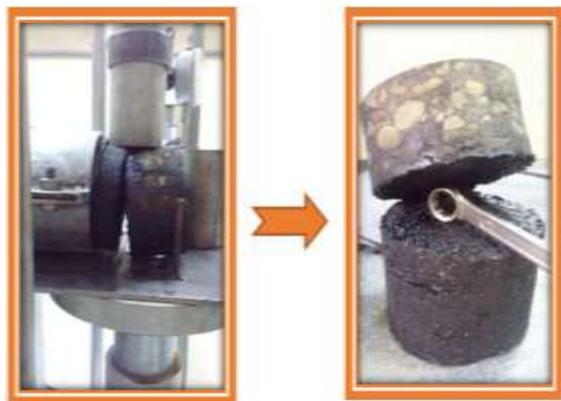
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.18 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
8	carpeta nueva	1239	20°C	101	8011,61	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.51		99	7697,460375	355,08	3483,33	3,48	1	0,22
						652,48	6400,83	6,40	2	0,41
	carpeta existente	681				758,69	7442,75	7,44	2,94	0,47
	total	1923.51		promedio	100	7854.54		máximo	7.44	2.94

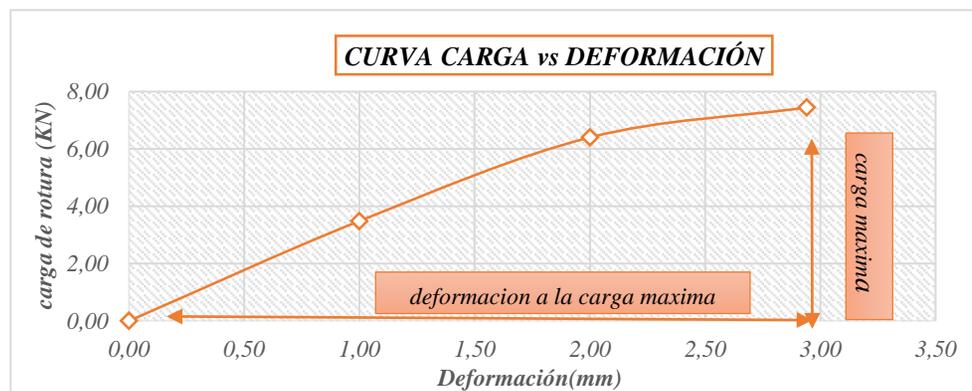
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.46 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.47 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.19 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

número de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
9	carpeta nueva	1238.5	20°C	100	7853,75	0,00	0	0,00	0,00	0,00
				100	7853,75	535,64	5254,63	5,25	1	0,33
	riego de liga	3.59				652,48	6400,83	6,40	2	0,41
						769,31	7546,93	7,55	3	0,48
						801,18	7859,58	7,86	3,22	0,50
	carpeta existente	572.5								
total	1814.59	promedio	100	7853.75		máximo	7.86	3.22	0.50	

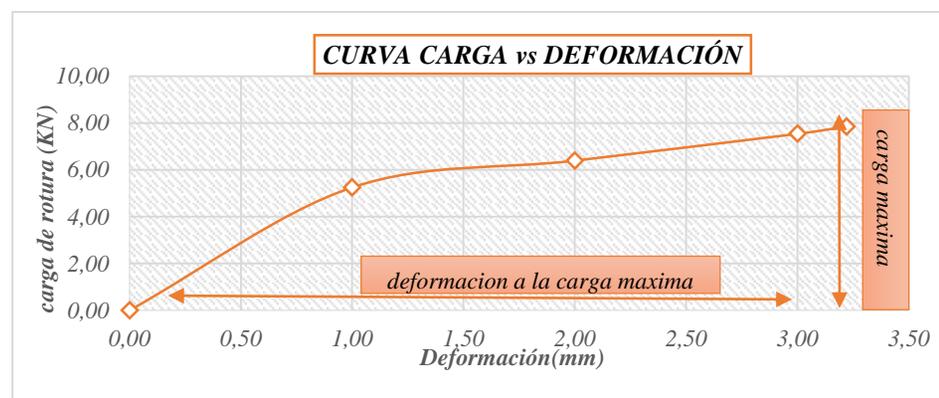
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.48 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.49 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.20 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

número de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
10	carpeta nueva	1239	20°C	101	8011,61	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.51		99	7697,460375	376,32	3691,70	3,69	1	0,24
						578,13	5671,46	5,67	2	0,36
						882,42	8656,54	8,66	3,58	0,55
	carpeta existente	664.3								
total	1906.81	promedio	100	7854.54		máximo	8.66	3.58	0.55	

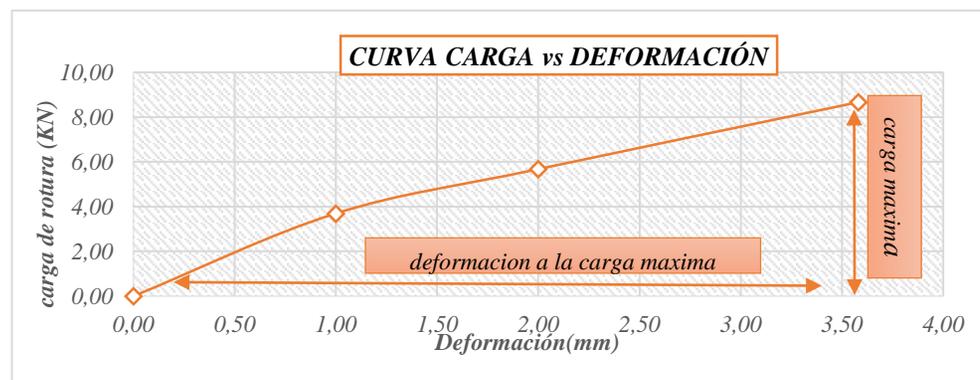
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.50 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.51 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.21 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

número de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
11	carpeta nueva	1225.8	20°C	100	7853,75	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.61		102	8171,0415	461,29	4525,25	4,53	1	0,28
						694,96	6817,56	6,82	2	0,43
	carpeta existente	609.5				790,55	7755,30	7,76	3,29	0,48
	total	1838.91		promedio	101	8012.40		máximo	7.76	3.29

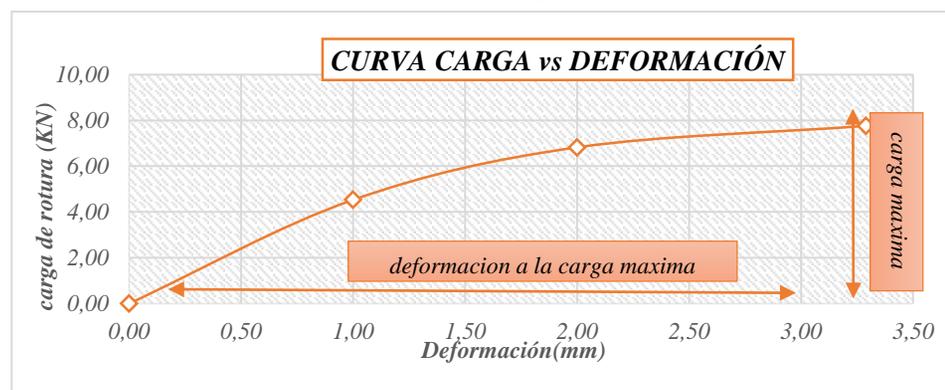
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.52 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.53 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.22 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

número de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
12	carpeta nueva	1236.5	20°C	100	7853,75	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.52		102	8171,0415	525,02	5150,45	5,15	1	0,32
						652,48	6400,83	6,40	2	0,40
						779,93	7651,11	7,65	3,06	0,48
	carpeta existente	623.8								
total	1863.82	promedio	101	8012.40		máximo	7.65	3.06	0.48	

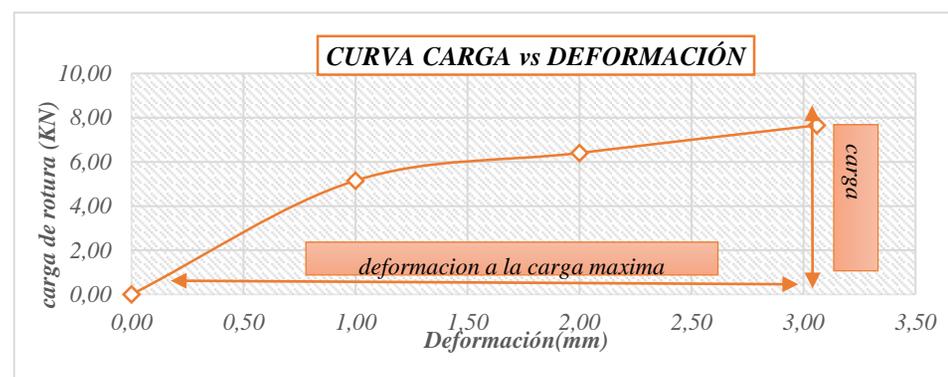
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.54 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.55 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.23 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
13	carpeta nueva	1231.5	20°C	100	7853,75	0,00	0	0,00	0,00	0,00
				101	8011,61	429,43	4212,71	4,21	1	0,27
	riego de liga	3.56				525,02	5150,45	5,15	2	0,32
						801,18	7859,58	7,86	3,31	0,50
	carpeta existente	611.3								
	total	1846.36	promedio	100.5	7932.68		máximo	7.86	3.31	0.50

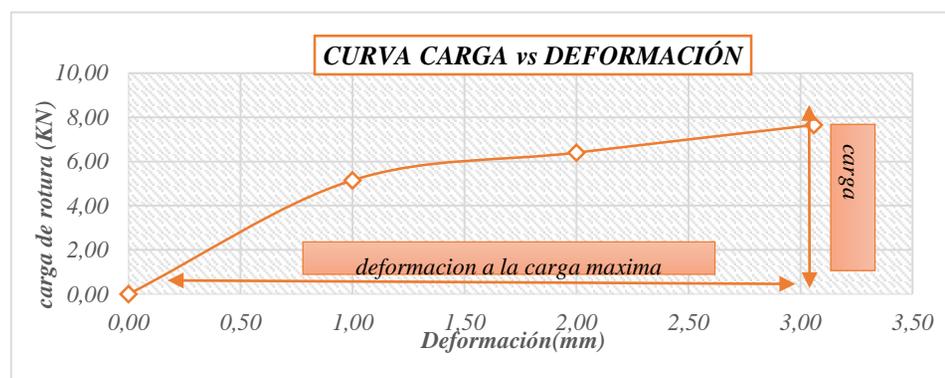
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.56 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.57 Curva carga vs Deformación



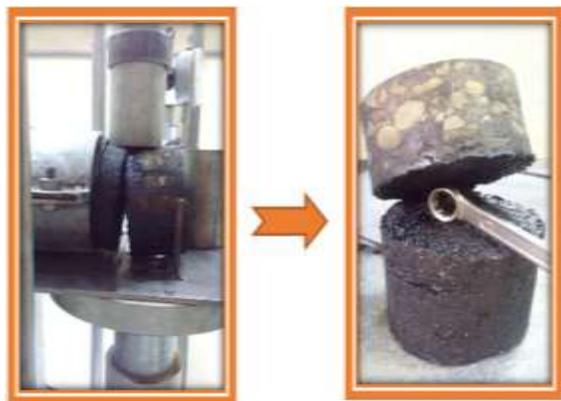
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.24 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
14	carpeta nueva	1229.5	20°C	100	7853,75	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.58		99	7697,460375	333,84	3274,97	3,27	1	0,21
						567,51	5567,27	5,57	2	0,36
	carpeta existente	615.8				748,07	7338,57	7,34	2,85	0,47
	total	1848.88		promedio	99.5	7775.61		máximo	7.34	2.85

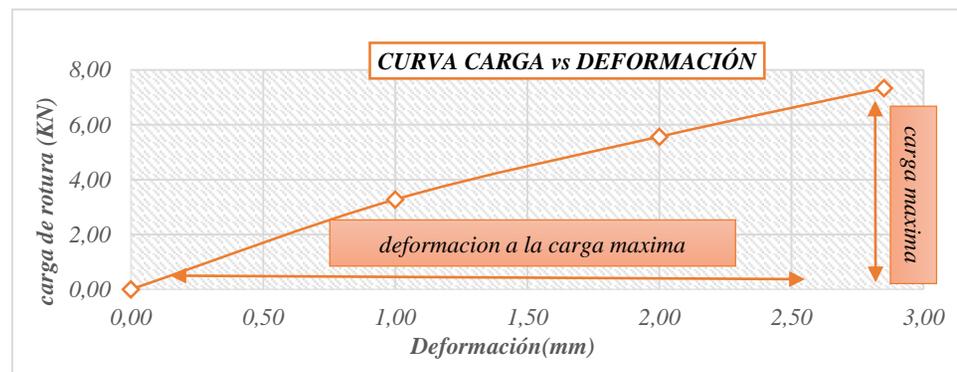
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.58 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.59 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.25 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
15	carpeta nueva	1232.5	20°C	101	8011,61	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.59		99	7697,460375	142,65	1399,40	1,40	1	0,09
						620,61	6088,18	6,09	2	0,39
						694,96	6817,56	6,82	3	0,43
	carpeta existente	624.3				811,8	7963,758	7,96	3,38	0,51
	total	1860.39	promedio	100	7854.54		máximo	7.96	3.38	0.51

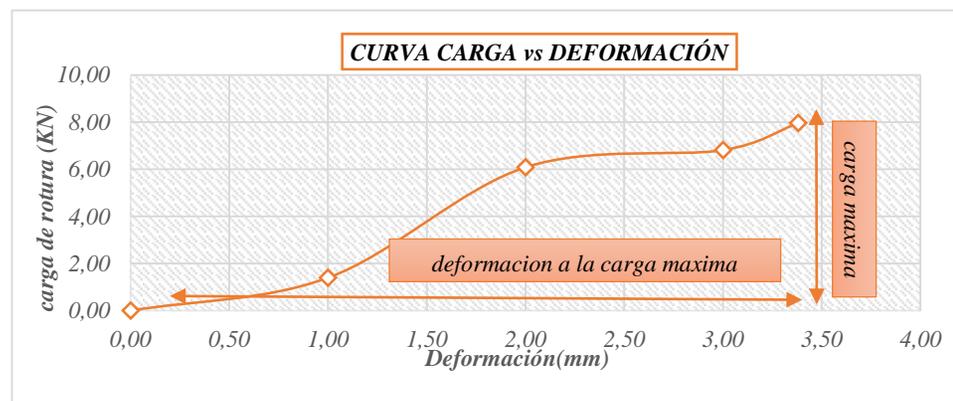
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.60 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.61 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.26 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
16	carpeta nueva	1229.5	20°C	101	8011,61	0,00	0	0,00	0,00	0,00
				100	7853,75	355,08	3483,33	3,48	1	0,22
	riego de liga	3.57				578,13	5671,46	5,67	2	0,36
						748,07	7338,57	7,34	2,91	0,46
	carpeta existente	611.3								
total	1844.37	promedio	100.5	7932.68	máximo	7.34	2.91	0.46		

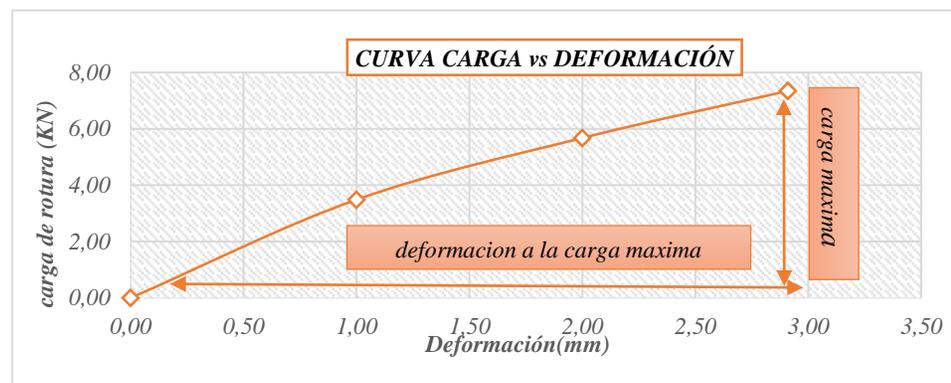
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.62 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.63 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.27 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
17	carpeta nueva	1237.5	20°C	99	7697,46	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.52		100	7853,75	408,19	4004,34	4,00	1	0,26
						641,86	6296,65	6,30	2	0,40
						779,93	7651,11	7,65	3,24	0,49
	carpeta existente	571								
total	1812.02	promedio	99.5	7775.61		máximo	7.65	3.24	0.49	

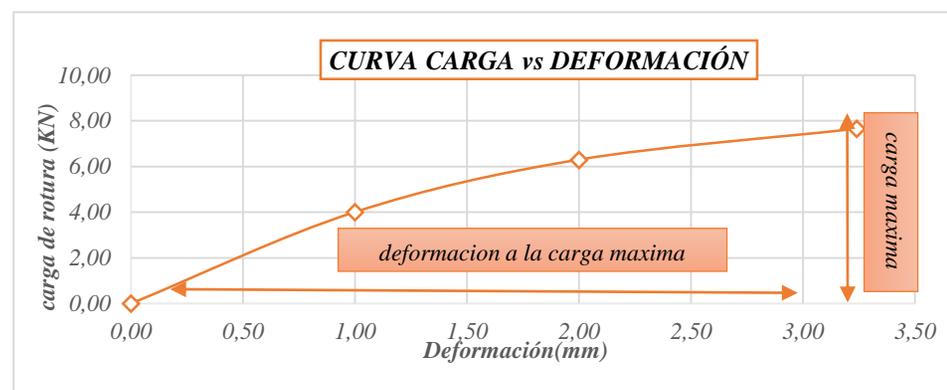
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.64 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.65 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.28 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
18	carpeta nueva	1236.5	20°C	101	8011,61	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.57		99	7697,460375	471,91	4629,44	4,63	1	0,29
						694,96	6817,56	6,82	2	0,43
						811,8	7963,76	7,96	3,41	0,51
	carpeta existente	662.8								
total	1902.87	promedio	100	7854.54		máximo	7.96	3.41	0.51	

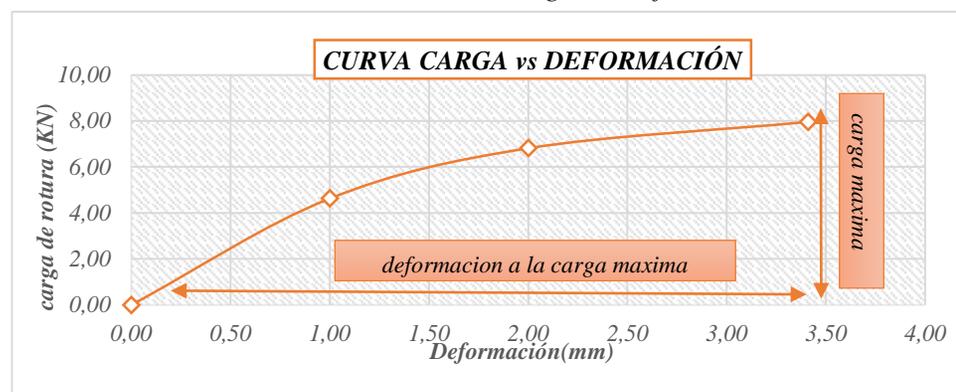
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.66 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.67 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.29 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
19	carpeta nueva	1231.5	20°C	100	7853,75	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.55		99	7697,460375	620,61	6088,18	6,09	1	0,39
						684,34	6713,38	6,71	2	0,43
	carpeta existente	623.8				779,93	7651,11	7,65	3,17	0,49
	total	1858.85		promedio	99.5	7775.6		máximo	7.65	3.17

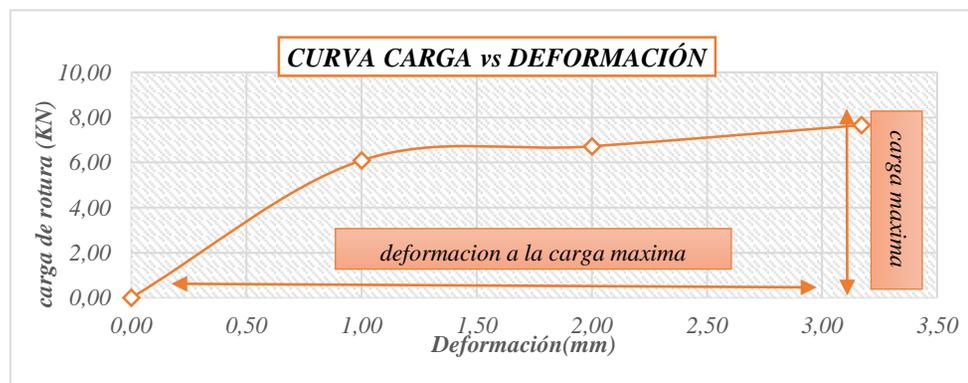
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.68 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.69 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.30 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
20	carpeta nueva	1229.8	20°C	100	7853,75	0,00	0	0,00	0,00	0,00
				100	7853,75	333,84	3274,97	3,27	1	0,21
	riego de liga	3.52				652,48	6400,83	6,40	2	0,41
						801,18	7859,58	7,86	3,26	0,50
	carpeta existente	673								
total		1906.32	promedio	100	7853.75		máximo	7.86	3.26	0.50

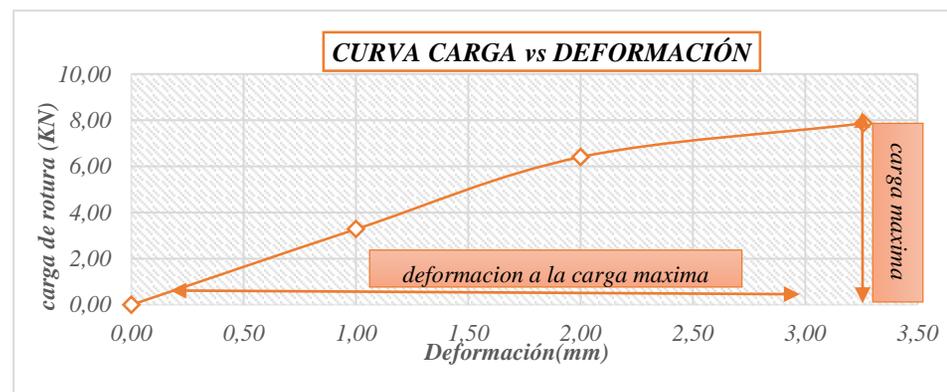
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.70 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.71 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.31 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
21	carpeta nueva	1239.2	20°C	101	8011,61	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	riego de liga	3.57		100	7853,75	471,91	4629,44	4,63	1	0,29
						525,02	5150,45	5,15	2	0,32
	carpeta existente	571				758,69	7442,75	7,44	2,99	0,47
	total	1813.77		promedio	100.5	7932.68		máximo	7.44	2.99

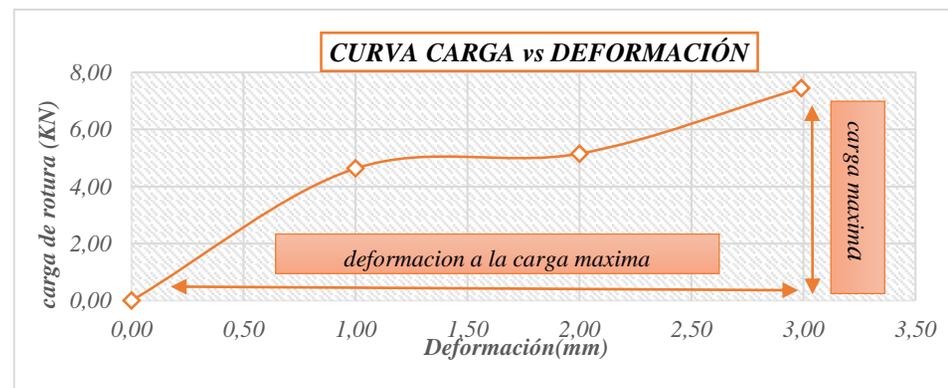
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.72 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.73 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.32 Tabla de resultados "Adherencia entre carpetas asfálticas"

numero de testigo	estructura del testigo	peso de testigo (gr)	temperatura(°C)	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	carga (kg)	carga (N)	carga (kN)	deformación de la carga(mm)	adherencia (N/mm ²)(Mpa)
22	carpeta nueva	1228.2	20°C	99	7697,46	0,00	0	0,00	0,00	0,00
				100	7853,75	599,37	5879,82	5,88	1	0,38
	riego de liga	3.51				673,72	6609,19	6,61	2	0,42
						801,18	7859,58	7,86	3,42	0,51
	carpeta existente	562.6								
total	1994.31	promedio	99.5	7775.61	máximo	7.86	3.42	0.51		

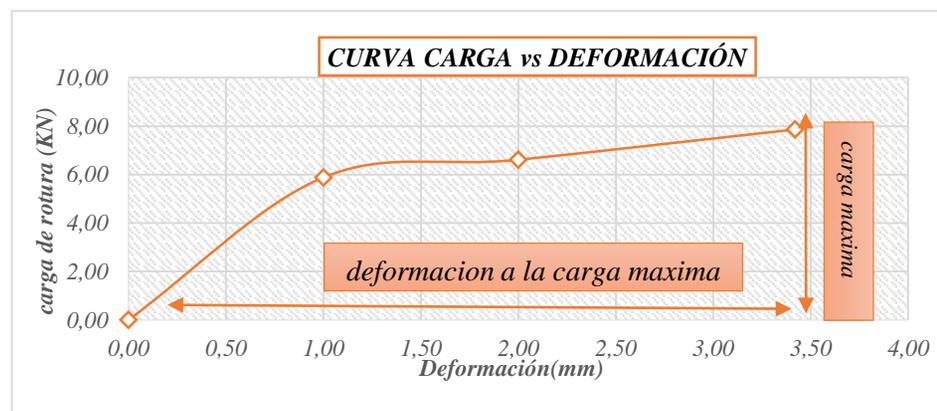
Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.74 Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.75 Curva carga vs Deformación



Fuente: Elaboración propia

10.4.6 Análisis de los resultados de la carga máxima, deformación máxima y adherencia tomados como parámetro para la evaluación de adherencia entre carpetas asfálticas.

Para la determinación de estos parámetros de adherencia se procederá a calcular el valor promedio de las magnitudes anteriores como resultado del ensayo de corte LCD, realizado a testigos de 100 mm de diámetro con un riego de imprimación de 0.004 litros de la siguiente manera:

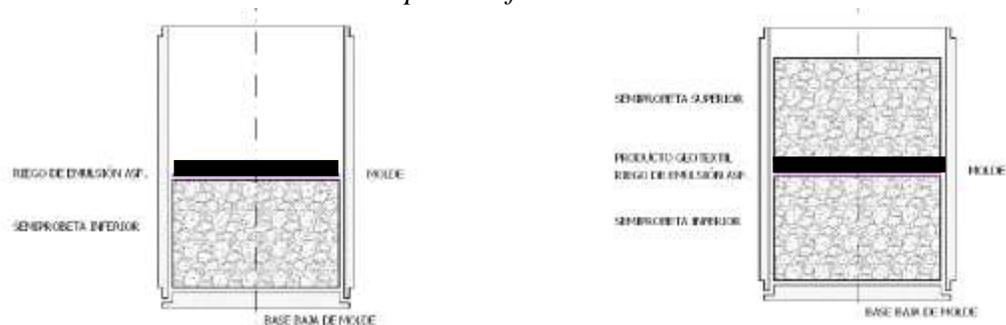
TABLA 4.33 Tabla de resultados obtenidos a través del ensayo de corte LCD para determinar la adherencia entre Carpetas asfálticas

numero de testigo	peso de testigo	temperatura	diámetro (mm)	superficie de sección transversal (mm ²)	Carga máxima (kg)	Carga máxima (N)	carga máxima (kN)	deformación máxima a la carga(mm)	Adherencia (N/mm ²)(Mpa)
2	1901,5	20°C	100,5	7932,68	843,66	8276,30	8,28	3,25	0,52
3	1812,51	100	100	7854,54	779,93	7651,11	7,65	3,12	0,49
4	1919,51	20°C	100,5	7932,48	779,93	7651,11	7,65	3,05	0,48
5	1901,51	20°C	100	7775,61	748,07	7338,57	7,34	2,92	0,47
6	1795,21	20°C	101	8012,40	790,55	7755,30	7,76	3,25	0,48
8	1923,51	20°C	100	7854,54	758,69	7442,75	7,44	2,94	0,47
9	1814,59	20°C	100	7853,75	801,18	7859,58	7,86	3,22	0,50
10	1906,81	20°C	100	7854,54	882,42	8656,54	8,66	3,58	0,55
11	1838,91	20°C	101	8012,40	790,55	7755,30	7,76	3,29	0,48
12	1863,82	20°C	101	8012,40	779,93	7651,11	7,65	3,06	0,48
13	1846,36	20°C	100,5	7932,68	801,18	7859,58	7,86	3,31	0,50
14	1848,88	20°C	99,5	7775,61	748,07	7338,57	7,34	2,85	0,47
15	1860,39	20°C	100	7854,54	811,80	7963,76	7,96	3,38	0,51
16	1844,37	20°C	100,5	7932,68	748,07	7338,57	7,34	2,91	0,46
17	1812,02	20°C	99,5	7854,54	779,93	7651,11	7,65	3,24	0,49
18	1902,87	20°C	100	7854,54	811,80	7963,76	7,96	3,41	0,51
19	1858,85	20°C	99,5	7775,61	779,93	7651,11	7,65	3,17	0,49
20	1906,32	20°C	100	7853,75	801,18	7859,58	7,86	3,26	0,50
21	1906,32	20°C	100	7932,68	758,69	7442,75	7,44	2,99	0,47
22	1794,31	20°C	99,5	7775,61	801,18	7859,58	7,86	3,42	0,51
promedio					789,84	7748,30	7,75	3,18	0,49

Fuente: Elaboración propia

Donde a través de los resultados también se pudo proceder a realizar los presentes gráficos, a efecto de lograr una mejor visualización de las variables claves del ensayo tales como la carga, deformación a la carga y la adherencia utilizada como principal parámetro para la evaluación de la adherencia entre una carpeta asfáltica, cuyos materiales constituyentes han sido: Una mezcla asfáltica convencional densa en caliente, una emulsión de curado rápido utilizado como riego de imprimación, y una carpeta asfáltica existente.

FIGURA 4.76 Materiales constituyentes para evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas



Fuente: Elaboración propia

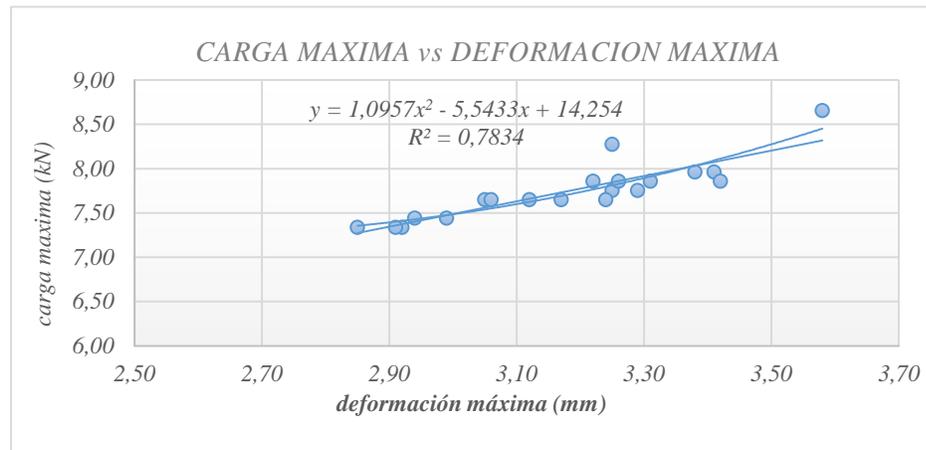
TABLA 4.34 Resultados

Carga máxima vs Deformación

<i>carga máxima (kN)</i>	<i>deformación máxima a la carga (mm)</i>
8,28	3,25
7,65	3,12
7,65	3,05
7,34	2,92
7,76	3,25
7,44	2,94
7,86	3,22
8,66	3,58
7,76	3,29
7,65	3,06
7,86	3,31
7,34	2,85
7,96	3,38
7,34	2,91
7,65	3,24
7,96	3,41
7,65	3,17
7,86	3,26
7,44	2,99
7,86	3,42

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.77 Variación de la Carga máxima vs Deformación máxima



Fuente: Elaboración propia

La variación de carga máxima aplicada respecto a la deformación máxima producida para dicho valor de carga nos indica que a mayor carga se produce mayor deformación, donde también se puede observar que la menor carga aplicada fue de 7.34 KN con una deformación producida de 2.85 mm y la mayor carga aplicada fue de 8.66 KN con una deformación producida de 3.58 mm.

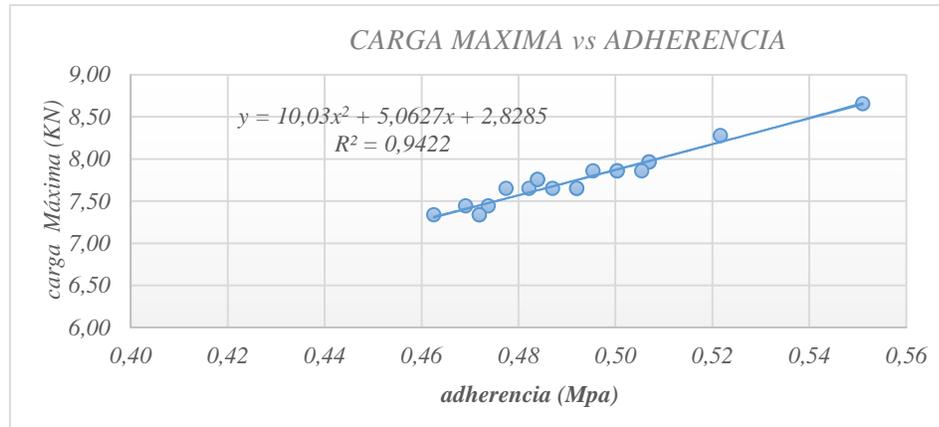
TABLA 4.35 Resultados

Carga máxima vs Adherencia

carga máxima (kN)	Adherencia (N/mm ²)(Mpa)
8,28	0,52
7,65	0,49
7,65	0,48
7,34	0,47
7,76	0,48
7,44	0,47
7,86	0,50
8,66	0,55
7,76	0,48
7,65	0,48
7,86	0,50
7,34	0,47
7,96	0,51
7,34	0,46
7,65	0,49
7,96	0,51
7,65	0,49
7,86	0,50
7,44	0,47
7,86	0,51

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.78 Variación de la Carga máxima vs adherencia



Fuente: Elaboración propia

La variación de carga aplicada respecto a la adherencia producida para dicho valor de carga nos indica la carga máxima necesaria para separar las dos carpetas asfálticas, utilizado como parámetro para evaluar la adherencia entre carpetas asfálticas donde la adherencia varía de 0.46 Mpa a 0.55 Mpa.

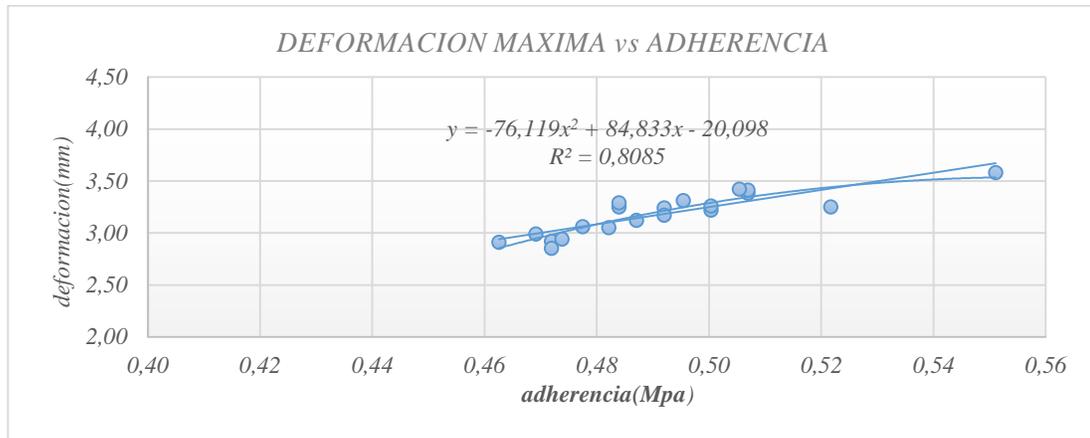
TABLA 4.36 Resultados

Deformación máxima vs Adherencia

deformación máxima a la carga(mm)	Adherencia (N/mm²)(Mpa)
3,25	0,52
3,12	0,49
3,05	0,48
2,92	0,47
3,25	0,48
2,94	0,47
3,22	0,50
3,58	0,55
3,29	0,48
3,06	0,48
3,31	0,50
2,85	0,47
3,38	0,51
2,91	0,46
3,24	0,49
3,41	0,51
3,17	0,49
3,26	0,50
2,99	0,47
3,42	0,51

Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4.79 Variación de la deformación máxima vs adherencia



Fuente: Elaboración propia

La variación de deformación aplicada respecto a la adherencia producida para dicho valor de carga nos indica la deformación máxima en la que se produce la separación de las dos carpetas asfálticas adheridas la cual se produce entre los 0.46 mm y 0.56 mm .

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5 Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- ❖ En el presente proyecto de investigación se logró realizar a partir de un estudio evaluativo, la capacidad de adherencia entre carpetas asfálticas, de tal manera que se pudo verificar el comportamiento del pavimento en conjunto, aplicando técnicas experimentales que permitieron el control de adherencia entre carpetas asfálticas.
- ❖ El tramo en estudio o pavimento existente que actuara como capa inferior está ubicado en el centro de la ciudad de Tarija específicamente en la calle Colon, el cual presenta, como principal problema fallas que están causando el deterioro del pavimento.
- ❖ Se ha encontrado en el ensayo LCD (Laboratorio de Caminos de Barcelona), una metodología simple y de fácil aplicación para el control de la adherencia entre capas de pavimentos.
- ❖ El ensayo LCD es apto para ser utilizado en etapas de laboratorio sobre probetas ya sea para una investigación o control de calidad, como también en etapas pos obra sobre núcleos calados de pavimentos ya que su sencilla implementación lo hace apto para ser efectuado en laboratorios de obra.
- ❖ Se pudo evidenciar que existen distintos tipos de adherencia entre carpetas asfálticas entre los cuales el uso de geotextiles y geogrillas se ha visto incrementada por esta razón, estos materiales están tomando cada vez un protagonismo más importante en la construcción. Esta importancia no sólo se

debe al aumento que este rubro representa en el presupuesto total de las obras, sino también a las ventajas que tiene como las de la facilidad de puesta en obra, ser un producto económico que permite ahorros de tiempos de ejecución, posibilita soluciones medioambientales correctas, empleo de mano de obra y utilización de materiales de calidad verificable.

- ❖ El desempeño del riego de liga como intercapa entre carpetas asfálticas debe de tener la dosis de imprimación adecuada para su aplicación, para lo cual el dosaje utilizado es el descrito a continuación tomando en cuenta que el diámetro que cubrirá en laboratorio para cada testigo es de 100 mm.

<i>TIPO</i>	<i>ASFALTO</i>	<i>SOLVENTE</i>	<i>RIEGO ° C</i>
<i>CURADO RAPIDO RC-70</i>	0,00252 lts	0,00148 lts	70-80

- ❖ La adherencia final conseguida entre las carpetas asfálticas dependió de varios factores tales como una dosis apropiada de riego de liga, la ejecución adecuada de la nueva carpeta asfáltica y cumplimiento de especificaciones técnicas aceptables.
- ❖ De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se puede observar que a través de la evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas mediante el ensayo de corte LCD determinamos magnitudes tales como:
 - Carga máxima de rotura.
 - Deformación o desplazamiento máximo.
 - adherencia calculada a partir de la carga máxima.

Además del resultado de la adherencia también nos informamos de:

Deformación a la carga máxima, origen de la muestra de ensayo, diámetro de la muestra de ensayo y temperatura de ensayo.

- ❖ El valor promedio como resultado del ensayo de corte LCD de los 22 testigos de 100 mm de diámetro con un riego de imprimación de 0.004 litros es el siguiente:

<i>numero de testigo</i>	<i>Carga máxima (kg)</i>	<i>Carga máxima (N)</i>	<i>carga máxima (kN)</i>	<i>deformación máxima a la carga(mm)</i>	<i>Adherencia (N/mm²)(Mpa)</i>
<i>promedio</i>	789.84	7748.30	7,75	3,18	0,49

- ❖ La variación de carga máxima aplicada respecto a la deformación máxima producida para dicho valor de carga nos indica que a mayor carga se produce mayor deformación, donde también se puede observar que la menor carga aplicada fue de 7.34 KN con una deformación producida de 2.85 mm y la mayor carga aplicada fue de 8.66 KN con una deformación producida de 3.58 mm.
- ❖ La variación de carga aplicada respecto a la adherencia producida para dicho valor de carga nos indica la carga máxima necesaria para separar las dos carpetas asfálticas, utilizado como parámetro para evaluar la adherencia entre carpetas asfálticas donde la adherencia varía de 0.46 Mpa a 0.55 Mpa.

5.2 Recomendaciones

- ❖ Es recomendable conocer y averiguar todas las especificaciones que se deben de tener en cuenta en la construcción de una carpeta asfáltica nueva, el riego de liga a utilizarse, así como también sobre los ensayos de caracterización de los materiales.
- ❖ Se recomienda que al trabajar con mezcla asfáltica a temperaturas altas se utilice el equipo necesario de seguridad para su manipuleo: guantes de cuero o lona, gafas de seguridad, ropa adecuada de preferencia un overol y mascarillas (tipo barbijo) para evitar la inhalación de gases u otras sustancias.

- ❖ Se recomienda tener mucho cuidado al utilizar los equipos para realizar la medición ya que se necesita precisión de los mismos.
- ❖ Se recomienda tener en cuenta que al utilizar el martillo Marshall manualmente tener cuidado con los golpes ya que al no hacerse a la misma intensidad pueden variar en los resultados.
- ❖ Se recomienda mantener la dosis de residuo de 0.5 litros por metro cuadrado o de 0.004 litros para testigos de 100 mm utilizados en laboratorio para obtener los mejores resultados, también tomar en cuenta como parámetro razonable para obtener la adherencia entre carpetas asfálticas una deformación máxima de 5 mm y cumplir con al menos 0.3 Mpa de adherencia entre carpetas asfálticas.