

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La macro-textura son características superficiales de la mezcla asfáltica que al ser evaluada en cuanto a su textura; pueden definir propiedades y comportamientos y estabilidad de una mezcla asfáltica, la macro-textura influye en la capacidad de evacuar el agua el cual pueden garantizar o no una buena mezcla asfáltica.

Estudios que se realizaron en diferentes países sobre evaluación de la macro-textura han demostrado la incidencia que tiene en el comportamiento de las propiedades de la mezcla asfáltica pudiendo identificar la textura más favorable para la capa de rodadura y con los resultados establecer una textura para ser adaptados en diferentes partes del país dependiendo con las características de macro-textura de los agregados que se tenga en una región determinada.

En la presente investigación se hará la evaluación de las propiedades de la mezcla asfáltica utilizando como riego de adherencia la dotación de emulsión para así poder obtener mezclas asfálticas. Con la finalidad de someterlas a evaluación para verificar el efecto que tendrán en las propiedades de la mezcla asfáltica, mediante el ensayo de Marshall. Pudiendo así llegar a una evaluación de cómo influye la macro-textura en las propiedades de la mezcla asfáltica.

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 adherencia de capas LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona) , 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.

En tal sentido la presente investigación sobre el estudio de la estimación de la influencia de macro-textura en las propiedades de la mezcla asfáltica cooperará con la construcción en carreteras a construirse tanto en nuestra ciudad como en nuestro país. Y de esta manera

como una necesidad que evite grietas prematuras, propagación de fisuras y disminución significativa de fallas o deterioros del espécimen nuevo para comodidad del usuario.

1.2. Justificación

En los últimos años la utilización de emulsiones en pavimentos flexibles en nuestro país, se está incrementado, por lo que es necesario investigar aún más sobre el comportamiento de la dotación de las emulsiones.

La utilización de emulsión en nuestra región tiene como finalidad el reemplazo parcial del cemento asfáltico como riego de liga para su empleo en vías podría ser un uso efectivo de estos materiales, también se lo realizará con la finalidad de proyectar para el futuro, el uso de emulsión en la resistencia al corte de un riego de adherencia para la construcción de una carretera existente con una nueva.

Como aporte académico de esta investigación es que se podrán implementar nuevas técnicas en la construcción de los pavimentos convencionales utilizando emulsión asfáltica como riego de adherencia con lo cual se pretende con este trabajo, que la emulsión pueda reemplazar al cemento asfáltico que se obtienen de recursos naturales no renovables, tales como el petróleo. El presente trabajo describirá la generación y caracterización de la dotación de emulsión en la resistencia al corte de un riego de adherencia en el tramo Canaletas-Piedra Larga que se emplearon en la construcción del diseño de la mezcla asfáltica.

Con los resultados de la evaluación de la macro-textura y la dotación de emulsión en la resistencia al corte de un riego de adherencia aplicada a los materiales que se obtengan del tramo Canaletas-Piedra Larga como muestra mediante ensayos de laboratorio se podrá obtener mejores propiedades, características del pavimento y lograr una mejor durabilidad del pavimento.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

La importancia de la influencia de la dotación de emulsión hace que se investigue sobre los materiales asfálticos, que consiste en diseñar un sistema que permita una fácil aplicación del asfalto, además de lograr una mejor adherencia entre una carpeta asfáltica

existente y una carpeta nueva, el asfalto y el material pétreo que sirve de sustrato para el asfalto.

Se han utilizado emulsiones en tareas de tratamientos y repavimentación de pavimentos flexibles. Se ha planteado el problema de la adherencia entre capas asfálticas cuando se ejecutan los rechapados o las pavimentaciones con sistemas multicapas. Sin embargo, en el ámbito nacional, poco se sabe el comportamiento de la adherencia entre las capas asfálticas.

En la actualidad existe una gran problemática para controlar la dotación de riego aplicada entre distintas capas de mezclas bituminosas empleadas en carretera. Esto origina fallos prematuros del pavimento una vez que este entra en servicio, provocados por la mala adherencia entre capas.

Por lo anterior, se ve la necesidad de analizar tecnologías de macro-texturas con el fin de analizar el comportamiento de sus propiedades mecánicas, que se presentarán en los resultados del diseño de las mezclas asfálticas.

Además empresas privadas y públicas dedicadas a la producción de mezcla asfáltica podrán conocer los resultados de la influencia de la macro-textura en las propiedades de riego de adherencia y así evaluar la mezcla asfáltica con mejores características en sus propiedades antes de su implementación.

1.3.2. Problema

¿Cuál es el comportamiento de los pavimentos flexibles con la influencia de la macro-textura que se adhieren con el riego de adherencia con emulsión para mejorar las condiciones de comportamiento de pavimentos flexibles?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar la dotación de emulsión en la resistencia al corte de un riego de adherencia mediante ensayos de laboratorio aplicado a testigos extraídos del tramo Canaletas-Piedra Larga.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar la información teórica referente al tema en investigación.
- Determinar cómo influye en un pavimento flexible la dotación de riego de adherencia.
- Determinar cómo influye la dotación de emulsión en la resistencia al corte a través de ensayos de laboratorio.
- Determinar la influencia de la macro-textura en los pavimentos flexibles utilizando como riego de adherencia la dotación de emulsión.
- Seguir paso a paso la metodología y recomendaciones de la guía de laboratorio para la correcta realización de los ensayos de laboratorio.
- Realizar la descripción de los conceptos relacionados al riego de adherencia, su importancia, características, procesos de ejecución, y método de control.
- Evaluar la propiedad de adherencia del riego con emulsión a través de la elaboración de probetas por medio del ensayo de corte (adherencia), para tener una mejor adherencia entre capas.
- Realizar un análisis comparativo de adherencia entre capas a través de gráficos estadísticos entre riego de liga con emulsión y el riego de liga convencional cemento asfáltico.
- Realizar un análisis de costos del riego de liga convencional y un riego con emulsión.

1.5. Hipótesis

Si aplicamos emulsión asfáltica en el riego de liga y lo empleamos en la adherencia entre una carpeta asfáltica existente con una nueva carpeta asfáltica, entonces obtendremos diferentes propiedades mecánicas de adherencia entre capas de pavimento asfáltico para la construcción de pavimentos flexibles más estables y duraderos.

1.6. Definición de variables independientes y dependientes

Las variables en la investigación, representan un concepto de vital importancia dentro de un proyecto. Las variables, son los conceptos que forman enunciados de un tipo particular denominado hipótesis.

1.6.1. Variable independiente

Una variable independiente es considerada un fenómeno a la que se le va a evaluar su capacidad para influir, incidir o afectar a otras variables.

En investigación experimental se llama así, a la variable que el investigador manipula para ver los efectos que produce en otra variable, su nombre lo explica de mejor modo en el hecho que de no depende de algo para estar allí.

Para nuestra investigación la variable independiente es la mezcla asfáltica con riego de adherencia por cuanto ésta no depende de algo para su aplicación y es la variable que vamos a manipular para mejorar sus propiedades.

1.6.2. Variable dependiente

Una variable dependiente es una Propiedad o característica que se trata de cambiar mediante la manipulación de la variable independiente. Cambios sufridos por los sujetos como consecuencia de la manipulación de la variable independiente por parte del experimentador. En este caso el nombre lo dice de manera explícita, va a depender de algo que la hace variar.

Las variables dependientes son las que se miden.

En nuestra investigación las variables dependientes serán:

Propiedades de corte de riego de adherencia a partir de la macro-textura

La adherencia existente entre capas.

1.7. Diseño metodológico

1.7.1. Componentes:

1.7.1.1.Unidades de estudio y decisión muestral

Las unidades de estudio y decisión muestral son las siguientes:

1.7.1.2.Unidades de estudio

Para nuestro estudio de investigación la unidad de estudio son las carpetas asfálticas con riego de adherencia.

1.7.1.3.Población de estudio

Carpetas asfálticas con riego de adherencia sobre macro-textura

1.7.1.4.Decisión muestral

Carpetas asfálticas con riego de adherencia en el tramo Canaletas-Piedra Larga.

1.8. Métodos y técnicas empleadas

Para el presente estudio de investigación se empleará el método inductivo y la técnica experimental.

1.8.1. Método inductivo

El método inductivo es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico más usual en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales:

La observación para hechos de un registro; la clasificación y estudios de estos hechos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización; y la contrastación. Esto supone que, tras una primera etapa de observación, análisis y clasificación de los hechos se logra postular una hipótesis que brinda una solución al problema planteado.

Se aplicará el método inductivo en la investigación revisando y siguiendo normas y guías de pavimentos establecidas en nuestro país para realizar los ensayos de laboratorio, ya

que la idea de utilizar distintos tipos de materiales para mejorar propiedades de otro no es nada nueva ya que se tiene conocimiento que data desde la antigüedad, todo esto como metodología constructiva para mejorar las propiedades de adherencia entre capas de pavimento.

La metodología y estudios consistirán en realizar pruebas experimentales de laboratorio que ayuden a establecer de manera precisa parámetros reales, que sirvan de apoyo para implantar recomendaciones técnicas a la hora de utilizar emulsiones en las mezclas asfálticas.

Debido a que los datos obtenidos en los proyectos investigativos son de pruebas empíricas y consentimiento del investigador, este proyecto busca establecer resultados experimentales reales, los cuales servirán de guía y recomendación propia del autor.

Siendo el método científico más usual donde podremos distinguir cuatro pasos esenciales: La Observación, la Clasificación, la Derivación y la contrastación

1.8.2. Técnicas empleadas

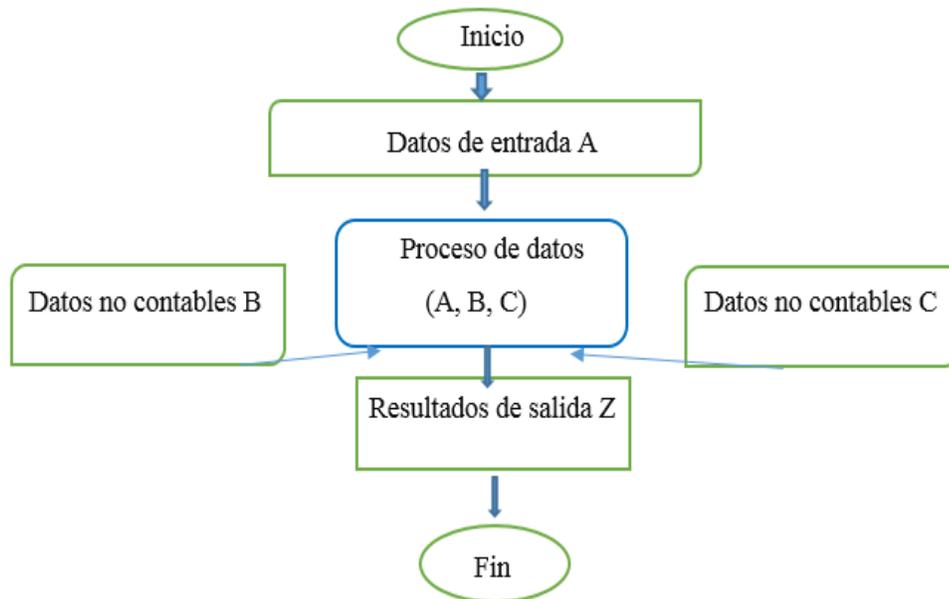
1.8.2.1. Diseño experimental

El diseño experimental es un método estadístico que se aplica en investigaciones experimentales en diferentes áreas: la ingeniería, industria, medicina, etc. Permite conocer mejor las variables involucradas en un proceso para esto es necesario definir las variables de entrada, variables no contables donde luego de un proceso generar una variable de salida como resultado.

Con la emulsión como riego de adherencia y el riego de liga convencional con cemento asfáltico que se trabaja en nuestro medio se procederá a la construcción de probetas con macro-texturas obteniendo así una mejor adherencia entre capas.

Para ello se realizaran como mínimo treinta ensayos en laboratorio para tener una muestra representativa de la presente investigación que se necesitarán para realizar los ensayos de Resistencia de la estabilidad Marshall como se muestra a continuación.

Esquema: De un diseño experimental



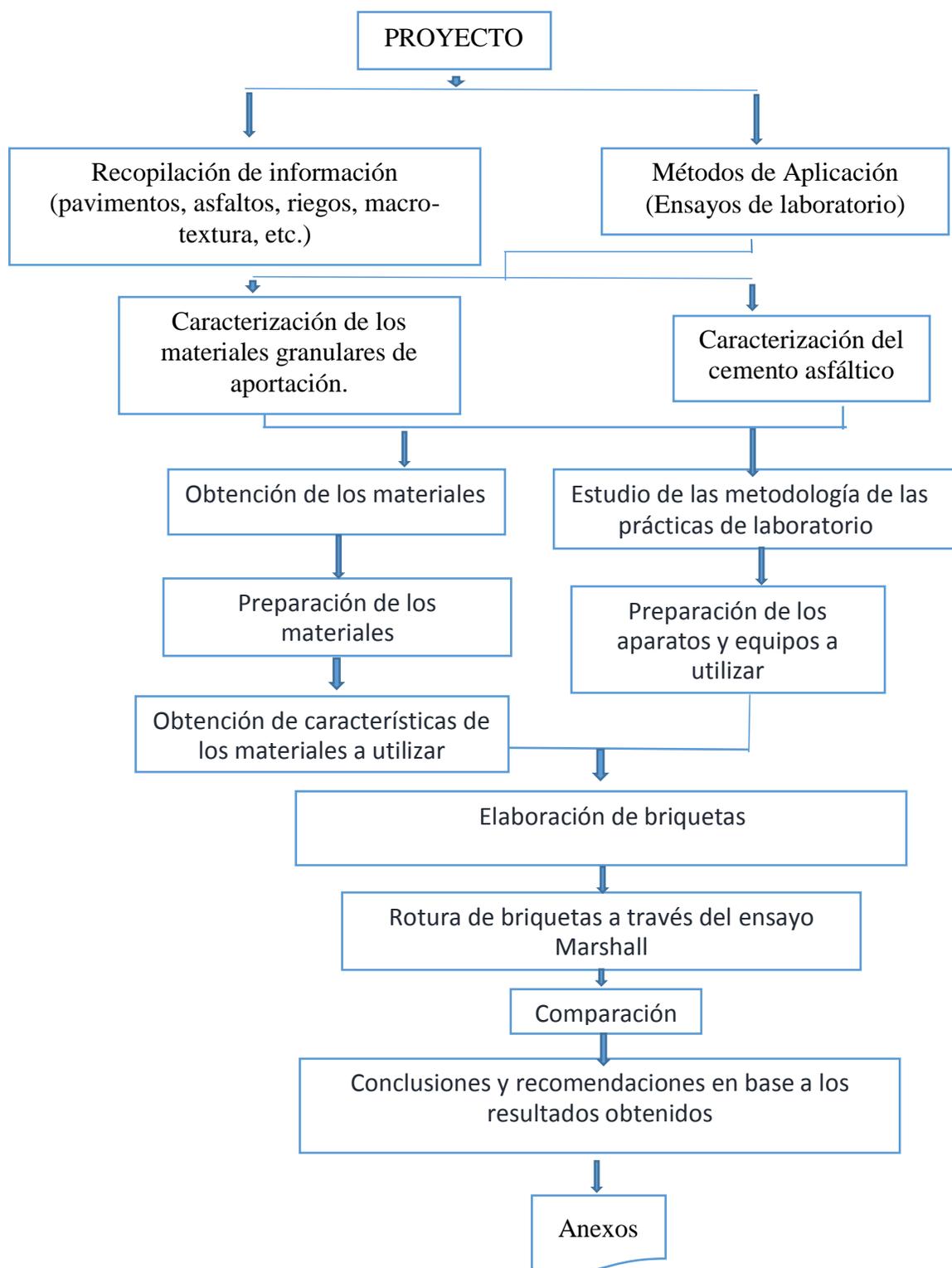
1.8.2.2. Técnica

La técnica a utilizar será experimental a través de ensayos sobre el material en estudio para evaluar sus propiedades.

El concepto del trabajo es la determinación de la fuerza de adherencia, midiendo el esfuerzo de corte necesario que produce el deslizamiento o rompe la adherencia existente entre la carpeta de rodadura existente con una nueva carpeta asfáltica, este ensayo nos permitirá determinar el grado de adherencia que se genera en un riego de liga con emulsión en comparación con un riego de liga convencional.

1.8.3. Técnica Metodología

Esquema: Flujograma de proceso de la investigación a realizar



1.8.4. Técnicas de muestreo

1.8.4.1. Técnicas de muestreo no probabilística

El muestreo es no probabilístico que se aplicará para la obtención del cemento asfáltico, riego de liga y materiales de aportación.

Los agregados de aportación se lo obtendrá de la planta de almacenamiento “San José de Charajá” y el cemento asfáltico se los obtendrá de la planta de almacenamiento del SE.DE.CA., de la ciudad de Tarija.

La emulsión se lo obtendrá de empresas o laboratorios químicos de nuestro medio.

1.8.4.2. Descripción de equipos e instrumentos

1.8.4.2.1. Para caracterización de los asfaltos.

Penetrómetro de asfalto.- Aparato que será utilizado para determinará la penetración del betún.

Ductilímetro.- Instrumento con el cual se determinará la ductilidad del asfalto a una temperatura de 25 grados centígrados.

Viscosímetro de Saybolt.- Instrumento utilizado para determinar la viscosidad del asfalto.

Cleveland de copa abierta.- Aparato utilizado para determinación de punto de inflamación con el cual se determinará el punto de ignición.

Picnómetro.- Instrumento que sirve para determinar la densidad o peso específico del cemento asfáltico en estudio.

1.8.4.2.2. Caracterización de los agregados para la mezcla asfáltica

Balanza.- Es usada para obtener los distintos pesos que se requieran con una sensibilidad de 0.1 gr.

Juego de tamices.- El juego de tamices que debe seguir la norma ASTM E-11 para este trabajo de investigación.

Cesto cilíndrico.- Canasta metálica hecha de malla metálica N 4, nos permitirá determinar el peso específico y absorción del agregado grueso.

Matraz de 500 ml.- Aparato que nos permitirá determinar el peso específico y absorción del agregado fino.

Recipientes cilíndricos.- Son cilindros que nos permitirán determinar el peso unitario de los agregados.

Máquina de desgaste de los ángeles.- Consiste en un tambor hueco de acero cerrado en ambos extremos y con esferas de acero.

1.8.4.2.3. Elaboración de briquetas Marshall elaboración de probetas

Molde de compactación.- En este molde estará el núcleo extraído del tramo Canaletas-Piedra Larga, se colocará encima el riego de liga con emulsión y luego se vaciará la mezcla asfáltica para determinar el grado de adherencia entre capas utilizando emulsión incorporados en el riego de liga.

Compactador.- Este compactador sirve para las la elaboración de probetas según especificaciones técnicas.

1.8.4.2.4. Para la determinación de los rangos óptimos de dotación de ligante (ensayo de resistencia a corte LCB)

Equipo para la medición de la resistencia a corte LCB: Se utilizará para la medición de la adherencia entre capas asfálticas (briquetas bicapa unidas con la aplicación de riego de liga) con la finalidad de determinar los rangos óptimos de riego de liga, los mismos que serán utilizados para los diferentes ensayos de control de dotación.

1.8.4.2.5. Para el ensayo del control o medición de la dotación de riego de liga

Instrumento para la medición del riego de liga aplicado: Se usará para medir la cantidad de ligante aplicado.

1.9. Descripción de instrumentos

La balanza digital.- Es un instrumento de medición se caracteriza por dos rasgos fundamentales: su gran rango de pesaje y su capacidad para obtener el peso con una precisión asombrosa.

Figura 1.1. Balanza digital



Fuente: Elaboración propia

Hornos.- Los hornos de secado son aparatos para mantener una temperatura entre 105°C y 150°C y sus termostatos no deben ser manipulados, pues toman un tiempo considerable en estabilizarlos y ajustarlos nuevamente a la temperatura requerida. Las muestras horneadas deben ser removidas del horno por el laboratorista a más tardar 24 horas después de haberlas colocado allí.

Figura 1.2. Horno eléctrico



Fuente: Elaboración propia.

Tamices.- Son mallas metálicas constituídas por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar el material triturado. Las aberturas que deja el tejido y que en conjunto constituyen la superficie de tamizado pueden ser de forma distinta, según la clase de tejido. Las mallas cuadradas se aconsejan para productos de grano plano,

escamas o alargado. Las aberturas se identifican por un número que indica la cantidad de aberturas por pulgada cuadrada.

Figura 1.3. Serie de tamices metálicos



Fuente: Elaboración propia.

Ductilímetro.- Consta de un recipiente de acero inoxidable provisto de un carro de tracción que se desliza a través de unas guías dentro del baño y que es accionado mediante un motor eléctrico. El equipo realiza el ensayo de manera automática en tres probetas simultáneamente. Velocidad de tracción de 1 y 5 cm. /min. Incluye 3 moldes de bronce.

Figura 1.4. Ductilímetro



Fuente: Elaboración propia.

Penetrómetro.- Equipo que permite el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja, y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una precisión de 0.1 mm. El peso del vástago será de 47.5 gr. y 0.05 gr. el peso total de la aguja. Para cargas totales de 100 gr. y 200 gr., dependiendo de las condiciones es en que se aplique el ensayo, se estipulan pesas de 50.0 y 100.0 gr.

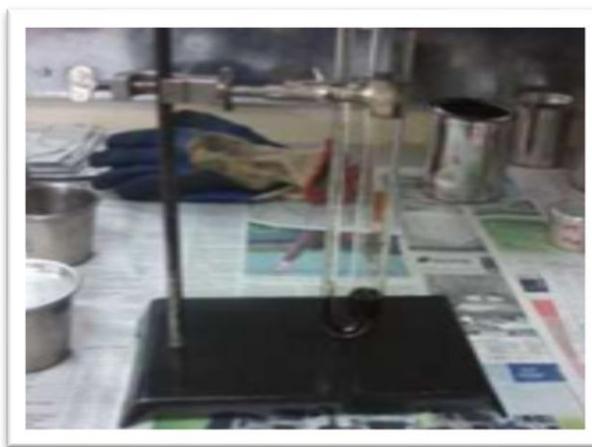
Figura 1.5. Penetrómetro



Fuente: Elaboración propia.

Viscosímetro.- Se utiliza para comparar la viscosidad específica de aceites y alquitranes utilizados en carreteras, con la viscosidad del agua. Se compone de un baño de agua completo con un termorregulador digital de precisión, agitador eléctrico, dispositivo de refrigeración.

Figura 1.6. Viscosímetro



Fuente: Elaboración propia.

Picnómetro.- Es un instrumento de medición cuyo volumen es conocido y permite conocer la densidad o peso específico de cualquier fluido ya sea líquido o sólido mediante gravimetría a una determinada temperatura.

Figura 1.7. Picnómetro



Fuente: Elaboración propia.

1.9.1. Procedimiento de aplicación

Caracterización de asfalto.- La caracterización del cemento asfáltico a modificar como del cemento asfáltico a utilizar basándose en la determinación de la viscosidad, penetración y punto de inflamación ya que son los parámetros más importantes. Estos parámetros deben cumplir los rangos especificados por normas, caso contrario no sería factible para realizar las mezclas asfálticas y se busca otra procedencia de cemento asfáltico.

Caracterización de agregados.- Para la caracterización de los agregados de aporte se debe primeramente someter al secado de los mismos a través del horno.

Posteriormente se comenzará con la práctica del tamizarlo a través del rop tap para realizar el vibrado de los tamices y el posterior pesaje del material que quedo retenido en cada tamiz.

Con estos valores obtendremos la curva granulométrica de los agregados, se analizará la curva granulométrica la cual debe estar dentro de los rangos máximos y mínimos de cada tamiz para su utilización en la práctica.

También se realizará ensayos de peso específico, peso unitario, desgaste de los ángeles y porcentaje de caras fracturadas.

Ensayos de evaluación de adherencia entre capas.- Para los ensayos de evaluación de adherencia entre capas se evaluará el comportamiento del riego de liga modificado sometiendo a las probetas a esfuerzo de corte por cizalla a través de la prensa de CBR o la prensa MARSHALL para la aplicación de las cargas. Para ello es necesario tener listas las probetas con su respectiva identificación de cada una de ellas, también se contará con tablas que permitan la tabulación de datos donde especifique el tipo de muestra, el ensayo a realizar, la numeración respectiva y los datos que se van a necesitar para el ensayo.

Determinación de los rangos óptimos de ligante

Se realiza por el ensayo de corte LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona) metodología propuesta por la Universidad de Cataluña, España. Con el cual se determinará el esfuerzo necesario para separar las capas, con lo cual se podrá evaluar la calidad de la adherencia de las briquetas bicapa y de esta forma se pueda determinar los rangos óptimos de dotación del ligante.

Número de ensayos a realizar.- Para la realización de este trabajo se realizarán los ensayos requeridos y necesarios, tanto para la capa base, para agregados a utilizar y del cemento asfáltico, así también se procederá a la elaboración de las probetas compuestas de núcleos, riego de liga con el fin de comprobar la mejora en la adherencia y penetración, mediante el ensayo de adherencia, se usará como riego de liga, con una dosificación propuesta de 0.5 lt/m^2 adicionando diferentes porcentajes de emulsión que tendrán una variación del 4.5 % al 7.5 % con intervalo de 0.5 %, de los cuales se utilizará el mejor porcentaje para realizar ensayos de durabilidad.

Tabla 1.1. Número de ensayos a realizar para la elaboración de las probetas

	Ensayos a realizar	Cant.
Agregados	Granulometría	3
	Peso específico del agregado grueso (grava)	3
	Peso específico del agregado grueso (gravilla)	3
	Peso específico de agregado fino (arena)	3
	Peso unitario de agregado grueso (grava)	3
	Peso unitario de agregado grueso (gravilla)	3
	Peso unitario de agregado fino (arena)	3
	Equivalente de arena	3
	Desgaste de los ángeles	2
Cemento asfáltico	Penetración	3
	Ductilidad	3
	Punto de inflamación	3
	Punto de ablandamiento	3
	Peso específico	3
	Viscosidad	3
Total		44

Fuente: Elaboración propia.

Se elaborarán mezclas asfálticas (briquetas) para la determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para la capa del pavimento flexible, la dosificación se realiza con la combinación de granulometría en función del porcentaje de C.A. adoptado según el contenido mínimo de cemento asfáltico.

Tabla 1.2. Elaboración de briquetas para obtener la cantidad óptima de C.A.

Porcentajes de cemento asfáltico	Número de briquetas
4.50%	3
5.00%	3
5.50%	3
6.00%	3
6.50%	3
7.00 %	3
7.50%	3
Total briquetas	21

Fuente: Elaboración propia.

Para la valoración de la adherencia entre capa de rodadura existente y una nueva que se propone en esta investigación, se colocarán los núcleos extraídos del tramo Canaletas-Piedra Larga posteriormente se realizará la dotación del riego de liga utilizando emulsión con el fin de determinar el porcentaje óptimo de emulsión que nos mejore la adherencia entre capas.

Cantidad de briquetas a construir para obtener los rangos óptimos de dotación de ligante (analizando el valor de adherencia entre capas mediante el ensayo de corte LCB) y el control de la dotación de riego de liga aplicado mediante el ensayo de absorción de ligante Para la valoración del sistema de control de dotación que se propone en esta investigación, primeramente se elaborarán briquetas bicapa con el fin de determinar el rango de dotaciones óptimas que garanticen una buena adherencia entre capas, para ello se realizará el ensayo de corte, y también se utilizarán núcleos del tramo Canaletas-Piedra Larga para el propósito de control en la dotación de riego de liga. Lo cual se detalla más adelante.

La cantidad de aplicación para riegos de liga según el Instituto de Asfalto varía normalmente de 0,25 a 0,70 litros por metro cuadrado, esta variación está de acuerdo al estado de la superficie a regar (Asphalt Institute. MS-22). Para esta investigación el rango de dotaciones que se adoptará será de 0,3 lt/m² a 0,7 lt/m², con intervalos de 0,1 lt/m², teniendo así 5 dosificaciones de riego (0,3 – 0,4 – 0,5 – 0,6 – 0,7 lt/m²).

Para la obtención del rango de dotaciones óptimas de riego de liga.

El riego de liga será aplicado entre dos carpetas asfálticas elaboradas en caliente (mezcla asfáltica densa), cada espécimen estará conformado por una capa inferior y una capa superior haciendo un total de 2 briquetas (briqueta bicapa). Para el riego de adherencia o riego de liga se utilizarán asfalto líquido de curado rápido (RC-70) y de curado medio (MC-70), para lo cual se elaborarán 6 briquetas por cada tasa y tipo de ligante aplicado.

La cantidad de briquetas a construir será:

$$N = A * B * C$$

$$N = 5 * 2 * (6 * 2) = 120 \text{ briquetas a construir}$$

Donde:

N = Cantidad de briquetas.

A = Número de tasas de aplicación de ligante.

B = Número de emulsión a utilizar.

C = Número de briquetas por cada dosis de ligante.

Las 120 briquetas son tanto para la capa superior e inferior, si se toma en cuenta que dos briquetas conforman una biqueta bicapa, entonces da como resultado un total de 30 briquetas bicapa a construir.

Para la dotación de emulsión como riego de liga.- El riego de liga será aplicado entre dos capas, la carpeta de rodadura que es la muestra de una extracción de núcleo y una mezcla asfáltica elaborada en caliente, cada espécimen estará conformado por una capa inferior y una capa superior haciendo un total de 2 capas. Para el riego de adherencia, para lo cual se elaborarán 5 probetas por cada porcentaje adicionado al riego de liga.

La cantidad de probetas a construir será:

$$N = A * B * C$$

$$N = 5 * 2 * (5) = 50 \text{ probetas}$$

Donde:

N = Cantidad de briquetas.

A = Número de tasas de aplicación de emulsión como ligante.

B = Número de modificador al ligantes a utilizar.

C = Número de briquetas por cada tasa de aplicación al ligante.

1.9.2. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

Una vez obtenidos los resultados de caracterización y de los ensayos realizados en el laboratorio se procede al tabulado y si es posible corregir los resultados obtenidos de cada ensayo. Para el análisis se empleará la estadística descriptiva para el análisis de los datos obtenidos.

1.9.3. Estadística descriptiva

El proceso seguido en el estudio estadístico de una cierta característica o variable, puede subdividirse en tres pasos sucesivos.

A). Recogida de datos.- Planteado el test o encuesta oportuna y recogidos los datos que correspondan, el primer análisis que realizaremos es el del tipo de variable que pretendemos estudiar (cualitativa o cuantitativa; discreta o continua).

Esto condicionará en gran medida su posterior tratamiento de los datos en estudio de la investigación.

B). Organización de los datos.- Determinado el modo de agrupamiento de las observaciones, procedemos a su recuento, construyendo la tabla de frecuencias. Posteriormente podremos visualizar tales frecuencias de forma gráfica con el diagrama estadístico apropiado.

C). Análisis final.- La obtención de muy diversas conclusiones respecto de la variable estudiada, se podrá realizar con auxilio de los diferentes parámetros estadísticos (de centralización, posición, dispersión, etc.).

Para nuestra investigación se trabajará con variables **cuantitativas** ya que los valores de las observaciones son numéricos (cuantificables) y en consecuencia estos datos obtenidos son ordenables.

1.9.4. Gráficos estadísticos a utilizar

Diagrama de barras.- Para variables cuantitativas y cualitativas no agrupadas en intervalos.

1.9.5. Medidas de dispersión

Rango.- Con el fin de medir el mayor o menor grado de separación de las observaciones realizadas, es la diferencia entre el valor máximo y mínimo observado.

$$R = \text{Máx.} - \text{Mín.}$$

Desviación media.- Es la media de las desviaciones o separaciones de cada una de las observaciones, respecto a la media aritmética, consideradas en valor absoluto.

$$Dx = \frac{\sum n_i |x_i - \bar{x}|}{N}$$

Con los ensayos de laboratorio determinamos el cumplimiento de requisitos mínimos según normas, que debe tener el riego de liga que es el material modificado en la investigación.

Con los ensayos de laboratorio se podrá determinar:

Gráficos de resultados obtenidos con la dotación de emulsión.

Condiciones para la puesta en obra.

Relaciones entre riego de liga con emulsión y riego de liga convencionales.

Gráficas de Resultados de adherencia.

Coefficiente de variación (C.V.).- Desviación estándar dividida por la media. También es conocida como desviación estándar relativa (R.S.D.). El coeficiente de variación puede ser expresado en porcentaje.

$$C.V. = \frac{S}{X}$$

Donde:

C.V. = Coeficiente de variación.

S = Desviación estándar.

X = Valor medio.

1.10. Alcance de la investigación

El tema en estudio “dotación de emulsión en obra mediante riegos de adherencia con emulsión” está limitado a mejorar las propiedades sobre todo de adherencia entre capas de pavimento asfáltico existente con un pavimento asfáltico nuevo, con el fin de buscar nuevos materiales para mejorar la adherencia entre capas.

Primeramente se describirá de manera general de que se trata la investigación para la utilización de emulsión en los riegos de adherencia donde se dará a conocer su problemática, los objetivos, hipótesis, etc.

Posteriormente la teoría acerca del riego de adherencia con emulsión, se detallará estados de conocimiento acerca de los mismos como ser sus características, propiedades, clasificación, etc.

Luego nos referimos a los cementos asfálticos, donde se detalla toda información necesaria como las características, propiedades, componentes, sus limitaciones, etc. de cada material mencionado.

El siguiente paso es la experimentación que se realizará, describe los métodos, criterios y medios para la obtención de datos, caracterización de los materiales a utilizar para que luego sean analizados.

CAPÍTULO II

INVESTIGACIÓN SOBRE RIEGOS DE ADHERENCIA

2.1 Antecedentes de los asfaltos

Como se explica en el manual del instituto del asfalto, el asfalto es uno de los componentes ingenieriles más arcaico utilizado desde los inicios del hombre para la construcción. Fue en Egipto, aproximadamente en el año 2500 a.c. que el asfalto fue descubierto; es una palabra cuyo vocablo que deriva de “Sphalto” que significa “que deja caer” este término se utiliza en Asiria entre los años 1400 y 600 a.c.

Tiempo después esta palabra fue adoptada por los griegos, quienes le otorgaron el significado de “que rigidiza o estabiliza, y finalmente evolucionó al latín y después al francés (asphalte) y al español (asfalto), hasta llegar al inglés (asphalt).

En el antiguo mundo el asfalto era utilizado como mortero para la pega de bloques en la construcción, en la realización de pavimentos interiores y como impermeabilizante en la industria naval y numerosas aplicaciones más.

Como ejemplos históricos de ello se encuentren: la industria naval que producía y utilizaba el asfalto en sumeria ceca de los 6000 a.c., el uso de asfalto como mortero en la construcción de Torres de Babel y la utilización como material impermeable que le daban los egipcios al igual que como material de relleno del cuerpo humano en el proceso de momificación.

En aquel entonces era común encontrar asfalto natural depositado en estanques y lagos de asfalto, así como en piedras porosas como la caliza y la arenisca (piedras conocidas también como piedras asfálticas). Esto se explica debido a las fuerzas geológicas que provocaron el ascenso del asfalto a la superficie y al hacer contacto este con los elementos de la atmósfera provocaban su endurecimiento, ejemplo de esto son los depósitos del lago de asfalto de Trinidad, el cual se encuentra en la isla del mismo nombre en la costa de Venezuela. Sin embargo, en la actualidad el asfalto que se utiliza es artificial y se deriva del petróleo.

El asfalto refinado comenzó a utilizarse hace casi doscientos años como sustituto del asfalto natural debido a que este último sólo se encontraba en lugares apartados y su reología no era tan buena, ya que su contenido malténico al calentarse se evaporaba con rapidez y se endurecía con mucha facilidad. Al mismo tiempo, la industria automotriz empezó a expandirse por lo que una nueva industria llegó para mejorar las condiciones de las carreteras proporcionándoles texturas más suaves y diseños más modernos, por lo que el asfalto comenzó a verse como producto industrial barato e inagotable; fue así como se inició el uso del asfalto en las carreteras.

A principios del siglo XIX, sus aplicaciones se enfocaron en el ámbito de las vías terrestres, por lo que fue en 1802 cuando se utilizaron por primera vez en Francia rocas asfálticas como material para la construcción de banquetas, y en Filadelfia se utilizaron en 1838, pero la evolución del asfalto y su aplicación en las vías terrestres se dio en 1870 en Newark, New Jersey, cuando se construyó el primer pavimento de asfalto en el mundo.

Conforme la industria de las mezclas asfálticas iba en ascenso, comenzaron a surgir nuevas investigaciones para conocer el comportamiento de los asfaltos por medio de numerosas pruebas que fueron desarrollándose. En 192 Prevost Hubbard desarrolló uno de los primeros métodos de evaluación para determinar el Gmb (propiedad física de una mezcla asfáltica compactada) con el fin de simular el comportamiento de ésta en campo.

Cinco años más tarde, Francis Hveem desarrolló un método de evaluación para el sangrado por exceso de asfalto en una mezcla asfáltica compactada y también obtener una mezcla más estable. Al mismo tiempo Bruce Marshall desarrolló uno de los métodos más importantes de la historia, el cual determina la cantidad óptima de asfalto y de densidad que debe tener una mezcla asfáltica compactada para resistir las cargas transmitidas por los vehículos hacia la estructura¹.

¹ Ayala, M. y Juárez, I. Tesis de Grado: Diseño de Mezcla Asfáltica Modificado con fibra de vidrio disponible en el Salvador. San Salvador: U. de el Salvador (2010).

2.2 Definición

Desde el punto de vista de composición química, los asfaltos son mezclas complejas de hidrocarburos de alto peso molecular, con una notable proporción de heteroátomos (oxígeno, azufre, nitrógeno) y cierta cantidad de metales, tales como vanadio y níquel. Adicionalmente, la mayoría de los asfaltos muestran en su composición ciertas sales orgánicas solubles en la forma de micro cristales.

Todos estos constituyentes proporcionan las características físicas, reológicas, coloidales y de durabilidad en el asfalto. Desde el punto de vista estructural, se considera al asfalto como una sustancia coloidal compuesta de varias fracciones, siendo las principales los asfáltenos, los máltenos, las resinas, y los carbenos.

Los asfáltenos son sustancias policíclicas de alto peso molecular (>5000), aglomeradas en forma de partículas sólidas y constituyen la fase coloidal dispersa en el asfalto. Se ha determinado que los asfáltenos son típicamente compuestos de hidrocarburos aromáticos con cadenas laterales parafínicas en grado variable, dependiente de la procedencia del crudo y las condiciones de elaboración del asfalto.

Los asfáltenos pueden ser precipitados utilizando disolventes saturados y volátiles, tales como el "spirit" de petróleo IP (sulfonado y con rango de ebullición entre 60 y 80° C), n-pentano o n-heptano; son solubles en benceno, pero insolubles en hexano. La cantidad de asfáltenos precipitados, así como su naturaleza, puede variar dependiendo del tipo de solvente que se utilice. La parte no precipitada corresponde a los máltenos.

Los aceites (máltenos) representan los hidrocarburos de menor peso molecular, son líquidos a temperatura ambiente y constituyen la fase continua del sistema coloidal.

Los asfáltenos le confieren al asfalto la dureza y los máltenos le proporcionan las propiedades de adhesividad y ductilidad; las resinas y carbenos tienen influencia en la viscosidad, o propiedad de flujo del asfalto.

Las resinas son sustancias de consistencia semisólida o pastosa y un color más claro que los asfáltenos. Tienen un peso molecular más bajo que los asfáltenos (oscila entre el de los asfáltenos y el de los máltenos), están disueltas en el crudo y son parcialmente solubles

en el hexano, pero insolubles en el propano. Constituyen el elemento que permite mantener la estabilidad del sistema coloidal al propiciar la interacción entre los asfáltenos y los máltenos. Cuanto mayor es el contenido de resinas, más dúctil y blando es el asfalto. Los carbenos son constituyentes de naturaleza muy aromática, y representan la pequeña parte insoluble en CS₂ (en la cual el asfalto es prácticamente soluble).

Las características del asfalto dependen esencialmente de las proporciones relativas de sus constituyentes. A mayor proporción de asfáltenos, mayor dureza. Por oxidación al aire se pueden transformar las resinas y los máltenos en asfáltenos y por lo tanto aumentar la dureza.

2.3 Producción de asfalto

A través de los tiempos el asfalto y sus mezclas han ido modificándose. Desde la referencia de los afloramientos de asfalto en el mar muerto y de su utilización en la india como impermeabilizante de muros en los almacenamientos de agua.

En la actualidad no podríamos concebir el mundo que vivimos sin la mezcla asfáltica, que pavimenta los caminos y nos permite la comunicación, y el intercambio de productos y servicios.

La necesidad ha cambiado y las técnicas también, por lo cual, me permito recordarles un poco de los últimos cambios en la fabricación y que tratemos todos de pensar en cuál será el futuro.

Al transcurso del tiempo las plantas de asfalto han ido cambiando su diseño, de acuerdo a las necesidades y los cambios de especificación. Muchos de los cambios han sido causados por los ahorros, mayor producción o por mejoramiento de las emisiones contaminantes.

Hace unos 40 años, las plantas productoras de mezcla asfáltica, eran del tipo dosificadoras y producían con una gran calidad. De estas plantas aún hay algunas en operación y siguen produciendo con esa alta calidad.

Debido a restricciones para contaminar el ambiente y en especial la del aire, a las plantas se tuvo que adicionar equipos más grandes y difíciles de transportar.

A los comienzos de los 70 se introducen a la industria de las mezclas asfálticas las secadoras y mezcladoras de tambor, que aunadas a los silos de almacenamiento y a la disponibilidad de controles eléctricos, nos permiten tener plantas productoras continuas que funcionan más sencillamente y que podamos trasladarlas con mayor facilidad logrando economías en la producción.

Por frecuencia los cambios tecnológicos y de mejoría del medio ambiente nos llevan a modernizar los equipos productores de concreto asfáltico para reducir los costos de operación, ser competitivos y con mejor calidad.

En el presente ya se usan métodos de calentamiento, como las microondas y se están desarrollando cada vez más rápido nuevas técnicas, haciendo obsoletas hasta las plantas que aún no han tenido el 50% de su vida económica. Es de suponer que estos procesos se aceleran o produzcan otros cambios más drásticos, a medida que en algunos países empiece a escasear el petróleo.

Diferentes usos requieren diferentes usos de asfaltos. Los refinadores de crudo deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que producen para que estos cumplan ciertos requisitos. Esto se logra, usualmente, mezclando vidrios tipo crudos de petróleo antes de procesarlos.

El hecho de poder mezclar permite al refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario.

Existen procesos por los cuales puede ser producido un asfalto, después de que se han combinado los crudos de petróleo: destilación por vacío y extracción de solventes.

La destilación por vacíos consiste en separar al asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío. En el proceso de extracción con solvente, se remueven más gasóleos de crudo dejando así un asfalto residual.

Una vez que los asfaltos han sido procesados, estos pueden ser mezclados entre sí, en ciertas proporciones, para producir grados intermedios de asfalto.

Es así como un sulfato muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para producir un asfalto de viscosidad intermedia.

En resumen, para producir asfaltos con características específicas, se usa el crudo del petróleo o mezcla de crudo de petróleo. El asfalto es separado de las otras fracciones del crudo por medio de la destilación por vacíos o extracción con solventes².

2.4 Composición del asfalto

Previo al trabajo las relaciones entre la composición química y las propiedades del asfalto que afectan la durabilidad, daremos atención a la composición química del asfalto. El asfalto no está compuesto de elementos químicos simples, es una mezcla bastante compleja de moléculas orgánicas, sistemas de alta condensación llamados aromáticos.

Un análisis elemental de varios asfaltos se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composición de un asfalto

Código	B-2959	B-3036	B-3051	B-3602
Origen	Mezcla Mexicana.	Arkansas Lousiana.	Boscan.	California.
Porcentaje de carbono	83.77	85.78	82.90	86.77
Porcentaje de hidrógeno	9.91	10.79	10.45	10.94
Porcentaje de nitrógeno	0.28	0.26	0.78	1.10
Porcentaje de azufre	5.25	3.41	5.43	0.99
Porcentaje de oxígeno	0.77	0.36	0.29	0.20
Vanadio, ppm.	180.00	7.00	1380.00	4.00
Níquel, ppm.	22.00	0.40	109.00	6.00

Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Asphalt Institute

² Navarro. Confección y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de caucho. *Universidad de Chile*, 29 (2013).

Como se observa en la tabla, los heteroátomos, aunque en menor proporción comparado, con las moléculas de hidrocarburo, pueden variar en concentraciones por arriba de los rangos que dependen del origen del asfalto, porque los heteroátomos a menudo se encadenan de manera funcional con la polaridad de sus moléculas, su presencia puede generar una gran alteración en algunas de las propiedades físicas entre asfaltos de diferente origen.

Un análisis elemental con valores promedio entrega poca información acerca de los átomos que se incorporan a las moléculas o sobre qué tipo de estructura molecular está presente.

El tipo de estructura molecular es una información necesaria para entender fundamentalmente los efectos de la composición en las propiedades físicas y en la actividad química de este material.

El asfalto es indudablemente producto de materia orgánica de organismos vivos depositada y transformada, por ello la estructura molecular del compuesto presenta una gran diversidad. Carbonos en sistemas llamados aromáticos son estimados por correlación basados en análisis *carbono – hidrógeno*, [H.E. Schweyer and E.L. Chipley; 1967], [L.W. Corbett; 1967] sus densidades determinadas directamente por resonancia magnética molecular (*NMR*).

Las concentraciones de carbono aromático determinadas por NMR presentan un contenido típico de 25 a 35 por ciento de asfalto.

La estructura molecular del hidrocarburo es muy compleja por los heteroátomos de azufre, nitrógeno, y oxígeno que están presentes en una combinación suficiente, uno o más heteroátomos por molécula pueden estar presentes. Estos pueden estar incorporados dentro de los componentes, o en un grupo químico funcional más discreto junto a estos componentes.

Los heteroátomos, particularmente nitrógeno y oxígeno, y el denominado sistema aromático contribuyen considerablemente a la polarización de las moléculas que provocan las principales fuerzas de cohesión y las propiedades físicas.

2.5 Propiedades físicas de los asfaltos

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción, y mantenimiento de carreteras son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

2.5.1 Durabilidad

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar el comportamiento del asfalto frente al envejecimiento en horno. Estas son la prueba de película delgada en horno (TFO) y la prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO).

2.5.2 Adhesión y cohesión

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada por algunos, como relacionada con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo “califica – no califica”, y sólo puede indicar si la muestra es, o no, lo suficiente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

2.5.3 Susceptibilidad a la temperatura

Los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura

o tasa de variación de viscosidad con la temperatura, y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado, pues indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera.

Debe entenderse que es de vital importancia conocer las características de viscosidad de un asfalto en todo el rango de temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación.

Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

2.5.4 Endurecimiento y envejecimiento

Los asfaltos tienden a endurecerse aumentando sus características de consistencia en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

En el proceso de elaboración de la mezcla el asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras se encuentra en el tambor mezclador. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado. El margen de viscosidad del material original (antes de la prueba de película delgada en horno rotatorio – RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento.

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder

determinar sus características de envejecimiento, y así poder minimizar el endurecimiento de cada cemento asfáltico.

Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más, las causas principales la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado³.

2.6. Propiedades químicas del asfalto

El asfalto está compuesto primordialmente por moléculas complejas de hidrocarburos, aunque también contiene átomos de oxígeno, nitrógeno, azufre, sulfuro y otros elementos.

En condiciones normales, los hidrocarburos forman una solución coloidal de dos fases, en la que los hidrocarburos más pesados, denominados asfáltenos, están dispersos en las moléculas de hidrocarburos más ligeros, denominados máltenos. Los asfáltenos por su color negro y similitud con el polvo grueso de grafito, le proporcionan su color y dureza al asfalto. Los máltenos son líquidos viscosos y pegajosos compuestos de resinas y aceites que le proporcionan las propiedades aglutinantes al asfalto (su valor cohesivo).

La proporción de asfáltenos y máltenos en un ligante varía normalmente debido al proceso de envejecimiento o endurecimiento que sufre el asfalto en el tiempo. El envejecimiento produce cambios considerables en sus propiedades, que lo transforman en un material más rígido y con menor poder aglomerante. El envejecimiento del asfalto se produce por variadas y complejas reacciones de oxidación, volatilización y polimerización, principalmente, cuando este está expuesto a agentes ambientales como las altas temperaturas y el oxígeno.

³ Navarro. Confección y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de caucho. *Universidad de Chile*, 29 (2013).

Durante la vida del asfalto, se pueden distinguir dos importantes procesos de envejecimiento:

Envejecimiento primario o de corto plazo: Se produce desde la fabricación de la mezcla, hasta el proceso de compactación, se debe a altas temperaturas que es sometido el asfalto para realizar los trabajos de elaboración de las mezclas asfálticas. La volatilización es su causa principal (evaporación de los constituyentes más livianos del asfalto).
Envejecimiento secundario o de largo plazo: Es aquél que sufre el asfalto durante la vida de servicio del pavimento. La oxidación es su causa principal (reacción del asfalto con el oxígeno).

2.7. Ensayos empíricos del cemento asfáltico

Para estudiar la consistencia de los asfaltos se desarrollan ensayos en laboratorio, los cuales determinan si son aptos o no para trabajar en las mezclas asfálticas destinadas a la pavimentación⁴.

2.7.1. Penetración

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia de un asfalto, midiendo la distancia que una aguja penetra verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25°C, que la aguja está cargada con 100gr y que la carga se aplica durante 5 seg.

Es evidente que cuando más blando sea el asfalto mayor será la cifra que indique su penetración.

⁴ Laboratorio nacional de vialidad. (Junio de 2015). Mezcla asfáltica en caliente. Recuperado el 01 de 08 de 2016, de www.vialidad.cl

Figura 2.1. Ensayo de penetración

Fuente: Elaboración propia.

Los asfaltos se clasifican según su dureza o consistencia por medio de la penetración en milésima de milímetros, el instituto de asfalto ha adoptado cuatro diferentes grados de asfalto para pavimentación comprendidos los cuales están dentro de los siguientes rangos.

Tabla 2.2. Clasificación de asfalto según su dureza

Asfalto para pavimento	
40-50	AC-40
60-70	AC-20
85-100	AC-10
120-150	AC-5
200-300	AC-2.5

Fuente: Carlos Luis Verdezoto.

2.7.2. Punto de ablandamiento

Los asfaltos de diferentes tipos se ablandan a diferentes temperaturas. Normalmente éste método se lo realiza mediante el método arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los cementos asfálticos de pavimentos, frecuentemente se usa para caracterizar los materiales más duros que son empleados en otras aplicaciones e indica la consistencia del asfalto una vez tomada la temperatura necesaria del mismo y se ablanda esto puede ser en un rango de 48° a 57°C.

El ensayo consiste en llenar de asfalto dos anillos de latón de dimensiones normalizadas, las muestra separadas una de la otra se suspende de un baño de agua destilada y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso especificado, a continuación, se calienta el baño a una velocidad de 5 °C por minuto y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero caiga desde una distancia de 25mm. Esta temperatura se llama punto de reblandecimiento del asfalto.

Figura 2.2. Ensayo de punto de ablandamiento.



Fuente: Elaboración propia.

2.7.3. Ductilidad

La ductilidad es una propiedad que tienen algunos elementos que pueden deformarse sin romperse.

Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos que les falta esta característica. Por otro lado, los asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura.

Consiste en colocar una muestra o patrón en un baño de ductilidad a 25°C, para después medir el alargamiento elástico en porcentaje de la deformación con una velocidad de alargamiento de 5cm/min \pm 5%, antes de la ruptura (>100cm); unos asfaltos con ductilidad elevada son susceptibles a los cambios de temperatura.

Figura 2.3. Ensayo de ductilidad



Fuente: Elaboración propia.

2.7.4. Punto de inflamación

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta.

El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el ligante asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones que se están separando del asfalto.

El punto de inflamación de un asfalto se mide por el ensayo en vaso abierto Cleveland. Según condición normalizada prescrita en el método ASTM D-92, se trata de un vaso abierto de latón se llena parcialmente con asfalto y se calienta a una velocidad establecida.

Se hace pasar periódicamente sobre la superficie de la muestra una pequeña llama, y se define punto de llama la temperatura a la que se han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina.

Figura 2.4. Ensayo de punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia.

2.7.5. Peso específico

Es necesario conocer el peso específico del asfalto que se emplea para hacer las correcciones de volumen y se lo emplea también como factor para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentos compactados.

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 especificado de 1.05 significa que el material pesa 1.05 veces lo que pesa el agua a temperatura fijada.

Todos los líquidos y la mayor parte de los sólidos sufren cambios de volumen cuando varía la temperatura. Se expande cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían.

Los resultados de los ensayos antes indicados comparados con sus respectivas especificaciones, nos lleva a concluir si este asfalto es apto o no para posteriormente ponerlo en uso⁵.

Se realiza los ensayos con más detalle en Anexo C

2.8. Agregados pétreos

Son materiales granulares sólidos inertes o agregado mineral. En forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca.

2.8.1. Procedencia de los agregados (tipo de piedra)

Desde un punto de vista práctico, los agregados proceden de tres grandes grupos: Ígneas, Sedimentaria y metamórficos.

⁵Laboratorio nacional de vialidad. (Junio de 2015). Mezcla asfáltica en caliente. Recuperado el 01 de 08 de 2016, de www.vialidad.cl

Figura 2. 5. Tipos de roca



Fuente:<http://1.bp.blogspot.com/-dXOZkhKXCTo/VeHCrK2y1BI/AAAAAAAAARA/Hb7GiW-rSxc/s640/4b7f03f55e1eb720aca4a168cb7d5464.jpg>

2.8.1.1. Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como en el caso de areniscas esquistosas), de residuos de productos animales (algunas calizas) de plantas (carbón) de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal. Yeso)

Las rocas sedimentarias se encuentran dentro de las cortes terrestres en capas (estratos).

2.8.1.2.Rocas ígneas

Las rocas ígneas constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado. Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas.

Extrusivas: Son las que están formadas a partir del material que se ha vertido afuera sobre la superficie terrestre. Esta se enfría rápidamente al ser expuesta a la atmósfera y permite un endurecimiento de color vidrioso.

Intrusivas: Estas rocas son formadas a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza el magma se enfría lentamente permitiendo un endurecimiento de color cristalino.

2.8.1.3.Rocas metamórficas

Las rocas metamórficas son generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por el proceso de intensa presión y calor dentro de la tierra y también por reacciones químicas.

2.8.2. Fuentes de agregados pétreos

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos

A. Agregados naturales

Los naturales son los que sencillamente se extraen de depósitos formados por procesos naturales como la erosión y degradación por la acción del viento, agua, movimiento del hielo y los químicos.

Los principales tipos de agregado natural usado en la construcción de pavimentos son las gravas y la arena. La grava se define usualmente como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35mm (1/4"). La arena se define como partículas de un tamaño menor que 6.35mm (1/4") pero mayor que 0.075mm(N°200).las partículas de un tamaño menor que 0.075mm(N°200) son conocidas como relleno mineral (filler) el cual consiste de limo y arcilla.

Las gravas y las arenas son clasificadas, además de acuerdo a su origen.

Materiales en bruto: Los materiales en bruto son los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional.

Materiales de cantera: Se llama materiales de cantera a los materiales tomados de la ribera de los ríos.

Figura 2. 6. Agregados naturales



Fuente. Elaboración propia.

Los depósitos de grava varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo. Los depósitos de arena también contienen comúnmente alguna cantidad de arcilla y limo. Las arenas de playa (algunas de las cuales se encuentran tierra adentro hoy en día) están compuestas por partículas de tamaño regularmente uniforme. Mientras que las arenas de río contienen proporciones grandes de grava, limo y arcilla.

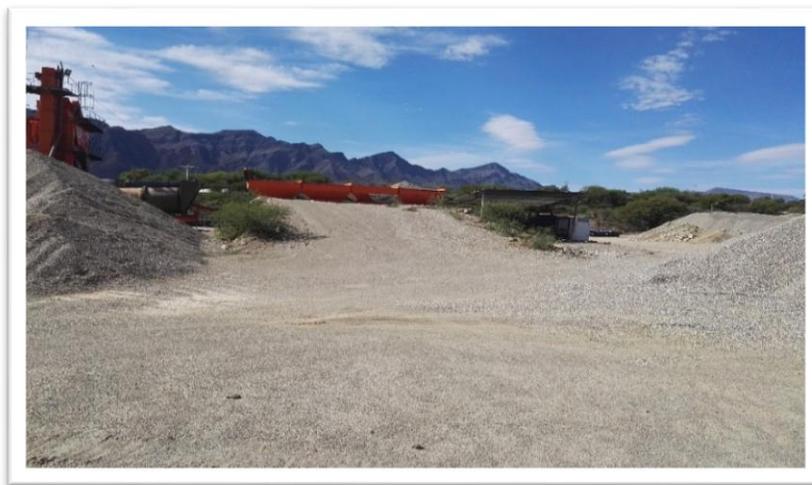
Agregados de trituración

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterales cuyas propiedades físicas sean adecuadas

La trituración a la cual están sometidos es con la finalidad de modificar las siguientes características: cambiar la textura superficial de la partícula de lisa a rugosa, cambiar la forma de la partícula de redonda a angular y para mejorar la distribución de los agregados.

Tamaños de las partículas los agregados procesados, son o han sido lavados, triturados o tratados para mejorar ciertas características de comportamiento de la mezcla asfáltica, por lo regular su explotación se da en canteras.

Figura 2. 7. Agregado triturado



Fuente. Elaboración propia.

Agregados marginales.

Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

Los agregados pueden ser naturales o procesados. De acuerdo con su tamaño, se dividen en gravas, arenas y relleno mineral (llenante mineral o filler). Los materiales pueden ser producidos en canteras abiertas o tomados de la ribera de los ríos (cantera de río).

2.8.3. Propiedades de los agregados pétreos.

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente el agregado conforma el 90 a 95 % en peso de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Por esta razón deberá poseer ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para un pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

A. Graduación y tamaño máximo de partícula

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en cierta proporciones.

Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. También es necesario saber el **tamaño máximo** del agregado debido a que las especificaciones exigen un tamaño máximo de la partícula para cada agregado.

B. Limpieza

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla, partículas blandas, terrones de arcilla, etc.) las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente en el comportamiento de un pavimento.

La limpieza de los agregados puede determinarse, mediante una inspección visual, también otra forma de determinar es por un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra del agregado antes de ser lavado es comparado con su peso después de ser lavado) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable. El ensayo de equivalente de arena (AASHTO T 176) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción (porción) de agregado que pasa el tamiz 4075mm. (N°4).

C. Dureza

Los agregados deben ser capas de resistir la abrasión (desgaste irreversible) durante la producción, colocado y compactación de la mezcla de pavimentación y durante la vida de servicio del pavimento; los agregados que están cerca de la superficie deben ser más duros (tener más resistencia) que los agregados usados en capas inferiores de la estructura del pavimento. Debido a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas de tránsito.

D. Forma de la partícula

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento. Debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento se consigue con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas por trituración.

Las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento.

E. Textura superficial

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no sólo la trabajabilidad, resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otra a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito seguro.

No existe modo directo para evaluar la textura superficial. Esta es sólo una característica como la forma de la partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

F. Capacidad de absorción

Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros, la cantidad de líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

La capacidad de un asfalto de absorber agua o asfalto es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuará absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto un agregado poroso requiere cantidades mucho mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso. Los agregados altamente porosos y absorbentes no son usados.

G. Afinidad por el asfalto

La afinidad de un agregado con el asfalto es la de tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Existen dos tipos de afinidad:

Los agregados hidrofóbicas

Son las que tienen alta afinidad con el asfalto, repelen el agua porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofólicos

Estos agregados atraen el agua y tienen poca afinidad con el asfalto. Por lo consiguiente tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestas al agua.

H. Peso específico

El peso específico de los agregados que se expresa también como densidad, conforme al sistema internacional de unidades es un indicador de calidad, en cuanto los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento mientras que el peso

específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, el peso específico de los materiales de origen natural ronda alrededor de 2.62gr./cm³.

2.8.4. Evaluación de los agregados pétreos para una mezcla asfáltica

Los Criterios de diseño normalizados para el diseño de mezclas asfálticas deben cumplir con las características mediante ensayos establecidos por las normas AASHTO Y ASTM.

2.8.5. Llenante mineral.

Este será polvo de piedra caliza ceniza de carbón o piedra de fundición “El llenante mineral podrá proceder de los agregados pétreos, separándose de ellos por medio de los ciclones de la planta mezcladora, o aportarse a la mezcla por separado de aquellos como un producto comercial o especialmente preparado para este fin.

El filler o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta (cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o un polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mástico para mezclas asfálticas. Cuando se trata de un producto comercial, se garantiza perfectamente su control y se conocen sus propiedades tanto físicas como químicas y su futuro comportamiento en la mezcla. Cuando se utiliza el otro tipo de filler, (de recuperación), que es aquel que se obtiene de las plantas asfálticas, no se sabe exactamente cuáles son sus componentes y en ocasiones varía su composición con el tiempo y puede estar o no, dentro de las normativas, El filler es la porción de agregado que pasa por el tamiz 75 µm (No.200).

2.8.6. Macro-texturas en las mezclas asfálticas

Cuando uno se pregunta cuáles deben ser las propiedades principales para que un pavimento sea considerado seguro, una de las primeras ideas es que posea una buena adherencia con los neumáticos.

Esto es importante a lo largo de toda la superficie del pavimento, sobre todo en zonas de frenado, curvas o donde exista presencia de agua.⁶

⁶ Cfr. Roco, Fuentes, Valverde 2003.

Sin embargo esta adherencia no depende únicamente del pavimento, sino también de las características del tránsito y del clima.

Los factores más importantes que afectan la adherencia entre el neumático y el pavimento son los siguientes: ⁷En la superficie del pavimento, como la condición geométrica, la naturaleza del árido, la cantidad de asfalto, la textura superficial, la presencia de agua en el pavimento, la presencia de contaminantes (polvo, caucho), entre otros.

En el tránsito, como la velocidad del vehículo, la clasificación de la vía y del peso de los vehículos y los neumáticos.

En el presente capítulo se hará una breve descripción de la influencia de cada una de estos factores en la adherencia, sin embargo lo que se estudiará a lo largo del trabajo será únicamente la influencia que tiene la macro-textura de los agregados en las propiedades de la mezclas asfálticas.

2.9. Superficie del pavimento Condición geométrica

La fricción de un pavimento está distribuída en sentido longitudinal y transversal. Por tal motivo se debe tener cuidado con la adherencia en muchos puntos de la superficie del pavimento.

El diseño geométrico de la vía se toma en cuenta este problema, asumiendo un factor de fricción admisible que representa a la fuerza de fricción con respecto a la velocidad.

2.9.1. Naturaleza del árido

El desgaste y el pulimento que afectan directamente a la adherencia entre el neumático y el pavimento se deben a la naturaleza y forma del árido.

Los agregados que tienen superficies lisas pueden ser recubiertos con una película de asfalto, pero la película se adherirá de modo más efectivo a superficies rugosas.

Las gravas naturales, tales como las de río, generalmente tienen una textura superficial lisa, partículas redondeadas y generalmente tienen baja resistencia al pulido.

⁷Cfr, De Solminihaç; Echaveguren 2003

Las gravas trituradas producen frecuentemente una textura superficial rugosa al cambiar la forma de las partículas.⁸

La resistencia al desgaste de un agregado depende de la rigidez, debiendo estar constituida por minerales de cierta dureza. Una mezcla de componentes duros con suaves es lo más adecuado.⁹

2.9.2. Cantidad de asfalto.

El exceso de asfalto disminuirá el roce entre el neumático y el pavimento al ocasionar exudación del mismo.

2.9.3. Textura superficial

La textura superficial es la característica geométrica de la superficie de rodado formada por áridos y asfalto en unión. Se define como “la geometría más fina del perfil longitudinal de una carretera” (Archútegi et al, 1996).

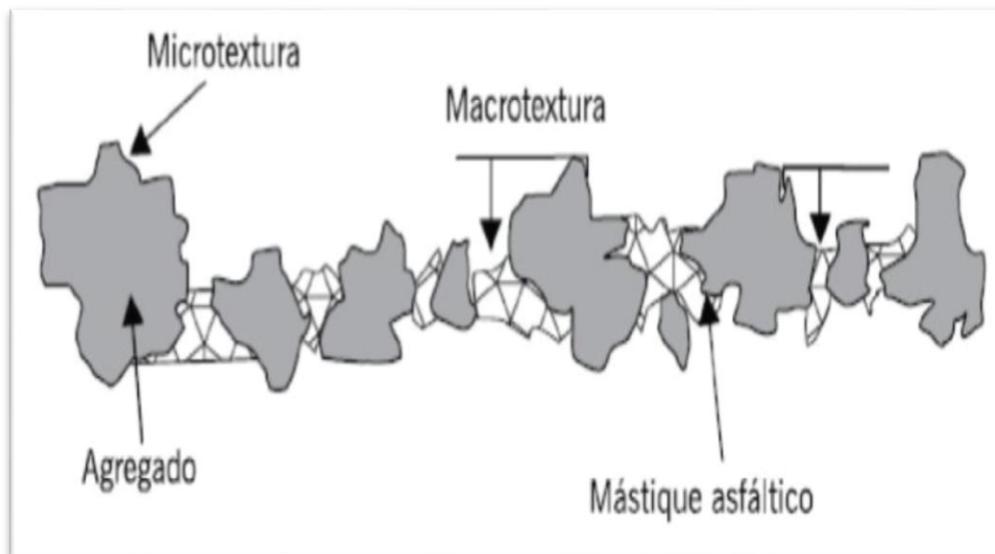
Es una característica que debe tener la carpeta de rodadura para alcanzar un nivel de seguridad en su resistencia al patinaje ya sea al momento del frenado, controlando al vehículo en zona de curvas o en distintas maniobras que el conductor es obligado a realizar.

Según la AIPCR (1995) la textura superficial se clasifica en mega textura, macro-textura y micro-textura, A pesar de esta clasificación, diferentes estudios han llegado a la conclusión que los factores que dependen de un pavimento para lograr niveles de fricción adecuados en contacto con un neumático son únicamente la macro-textura.

La macro-textura en la capacidad de evacuar el agua, lo que a su vez ayuda a mejorar la fricción. Ofrecida por los pavimentos que es proporcionada fundamentalmente por las características de los áridos y su distribución dentro de la capa de rodadura. Las características de los áridos deberán garantizar: Un adecuado contacto neumático-pavimento.

8 Cfr. Instituto Chileno del Asfalto 1991: C10

9 Cfr. Diaz 1999

Figura 2.8. Macro-textura

Fuente: https://www.researchgate.net/profile/Lucas_Almeida19/publication/309124300/figure/fig1/AS:416814996705280@1476387847059/Figura-1-Microtextura-e-macrotextura-na-superficie-de-um-revestimento-asfaltico-asfalto.pn

2.9.4. Macro-textura

La macro-textura es la textura del propio pavimento. Se refiere a irregularidades más grandes en la superficie del pavimento, esta clase de irregularidades se asocia con los espacios entre las partículas de los agregados.

La macro-textura en sí es el conjunto de partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Esta es importante ya que permite evacuar el agua de la superficie, de tal manera que ésta se pueda quedar en las depresiones. Es así como existirá mayor contacto entre el neumático y el pavimento.^{1º} depende directamente, de la granulometría y especialmente del tamaño máximo del árido que esté presente en la mezcla riego o lechada bituminosos o en el caso de que sea un pavimento de hormigón de su terminación (estriado, engravillado, denudado, etc.).

10 Janno Vicentt C, and coronen Charles , Perfomance Testing of Hot Mix Asplt Agregates, Special Report 99-20, US. Army Corps of Engineers (Dec. 1999).

La macro-textura es la capacidad de evacuar el agua acumulada en la superficie del pavimento a altas velocidades lo que a su vez ayuda a mejorar la fricción.

Otro aspecto es su influencia en el ruido de rodadura, aunque este aspecto no es objeto de estudio en este documento.

Para asegurar una adecuada adherencia de los neumáticos con el pavimento, se necesita siempre una cierta macro textura o aspereza de la superficie del firme Pero además a altas velocidades de circulación y en condiciones de pavimento mojado, debe tener una macro textura suficientemente gruesa para permitir la evacuación rápida del agua.

2.9.5. Composición de una mezcla asfáltica con macro-textura y Agregado grueso

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, a la parte del agregado retenido de modo predominante por el tamiz No. 4 (de 4.75mm) o bien, aquella porción de un agregado que es retenida por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm). “Esta porción de agregado debe provenir de la desintegración de roca, de grava o por una combinación de ambas; debe contener fragmentos limpios, resistentes y durables, evitando la presencia de partículas planas, alargadas, blandas deberá estar exento de contaminantes tales como tierra, terrones de arcilla u otras sustancias que puedan impedir la adhesión completa del asfalto o afecten adversamente la durabilidad de la mezcla compactada” El agregado grueso utilizado en nuestro medio es denominado “Grava”, que resulta de la desintegración natural de la roca o procede de la trituración de esta

Agregado fino

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo que pasa por el tamiz de 3/8 in (9.5 mm) y casi pasa por completo por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm). Y es retenido de modo predominante por el tamiz No. 200 (de 75 μ m); o bien, aquella porción de un agregado que pasa por el tamiz No. 4 (de 4.75 mm) y es retenida de modo predominante por el No. 200 (de 75 μ m). “El agregado fino deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no podrá exceder del quince por ciento (15 %) de la masa total del agregado combinado,

cuando el tránsito de diseño en el carril de diseño sea NT3, ni exceder de veinticinco por ciento (25%) tránsitos de menor intensidad.” (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2007)

2.9.6. Superficie de un pavimento con macro-texturas

Figura 2. 9. Tipos de Superficie de los pavimentos



Fuente: Resistencia al deslizamiento en pavimentos flexibles

Mezclas de macro-textura gruesa (abierta)

Para que un pavimento tenga una macro-textura gruesa está dada por las características del agregado de la granulometría gruesa (agregados de mayor tamaño) mayor porcentaje de vacíos.

Mezclas de macro-textura fina (cerrada)

De lo contrario de las macro-textura gruesas está dada por agregados de menor tamaño porcentaje de vacío menor.

Se dice que para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad se debe tener una macro-textura.

2.9.7. Limitantes en la macro-textura

Cuanto mayor sea el valor de la macro-textura, mejor será la capacidad de evacuación de agua en la interface neumático pavimento, sin embargo esta elevada capacidad de drenaje hace que exista un mayor nivel de ruido. También, cuanto mayor sea el valor de la micro-textura habrá mejor adherencia entre el neumático y el pavimento; sin embargo, esto produce un mayor desgaste de los neumáticos.

Es importante entonces, encontrar un punto en que ambas se compensen. Por otro lado, como se ha podido apreciar, la textura superficial de un pavimento está directamente relacionada con la resistencia al deslizamiento y la fricción

2.9.8. Análisis granulométricos para mezclas asfálticas para macro-textura

La graduación o análisis granulométrico permite conocer la distribución por tamaños de la fracción de una muestra de agregado y en base a ella se pueden definir a los agregados como bien graduados, uniformes y de granulometría discontinua. Los agregados bien graduados contienen una buena proporción de partículas de todo tamaño, variando de gruesas a finas tienden a encajar entre las partículas con lo que reduce la cantidad de huecos y permite definir la macro-textura de una mezcla asfáltica.

El propósito del análisis granulométrico es determinar el tamaño de las partículas que constituyen los agregados y fijar la cantidad de granos de distintos tamaños para las distintas mezclas con macro-textura que el mismo contiene que no se salga de los de valores de graduación de los agregados para pavimentos.

Tabla 2. 3 Graduación para mezclas asfálticas

Designación de graduación							
Tamiz		A	B	C	D	E	F
pulg.	mm						
2"	50	100	---	---	---	----	----
1 1/2"	37,5	97-100	100	---	----	----	----
1"	25	----	97-100	100	---	---	----
3/4"	19	66-80(5)	----	97-100	100	----	----
1/2"	13	----	----	76-88(5)	97-100	----	
3/8"	9,5	48-60(6)	53-70(6)	----	----	100	100
N°4	4,75	33-45(5)	40-52(6)	49-59(7)	57-69(6)	97-100	33-47(6)
N°8	2,36	25-33(4)	25-39(4)	36-45(5)	41-49(6)	62-81(5)	7-13(4)
N°40	0,425	9-17(3)	10-19(3)	14-22(3)	14-22(3)	22-37(3)	----
N°200	0,075	3-8(2)	3-8(2)	3-7(2)	3-8(2)	7-16(2)	2-4(2)

Fuente: Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras.

Se realizan mezclas asfálticas con agregados triturados y cemento asfáltico para lo cual: La curva granulométrica se ve afectada en el tamaño del árido grueso y el fino. Y así también como en la cantidad de material que tendrá en cada punto se obtiene mezclas asfálticas con macro-texturas diferentes pero todas están dentro de los rangos establecidos en la norma AASHTO.

2.9.9. Factores que afectan a la macro-textura en el pavimento

Los factores más importantes que afectan la textura en el pavimento son los siguientes: En la superficie del pavimento, como la condición geométrica, la naturaleza del árido, la cantidad de asfalto, la textura superficial, la presencia de agua en el pavimento, la presencia de contaminantes (polvo, caucho), entre otros.

2.9.9.1. En el tránsito, como la velocidad del vehículo.

La clasificación de la vía y del peso de los vehículos y los neumáticos.

2.9.9.2. En el clima, como la variación de la temperatura

En el presente capítulo se hará una breve descripción de la influencia de cada uno de estos factores en la adherencia, sin embargo lo que se evaluará a lo largo del trabajo será la textura superficial.

2.9.10. Ensayos para evaluar la macro-textura de un pavimento

Existe una gran variedad de ensayos que pueden ser utilizados para evaluar la adherencia entre el neumático y el pavimento. El inconveniente que tienen estos ensayos es que cada uno de ellos tiene un resultado independientemente del otro.

En este sentido, la AIPCR publicó el Experimento Internacional de Comparación y Armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento. Este estudio consiste en obtener un indicador internacional llamado Índice de Fricción Internacional (IFI), de tal manera que las mediciones se puedan realizar con cualquiera de los equipos que se utilizan en todo el mundo y puedan compararse sus características con cualquier pavimento de cualquier lugar del mundo.

2.9.10.1. Ensayo del círculo de arena

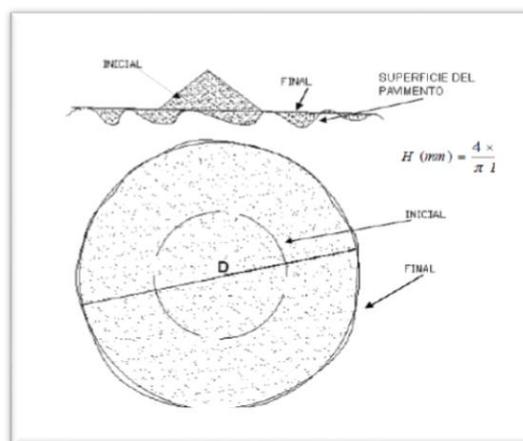
Se procede a determinar la textura superficial de las probetas mediante el círculo de arena o mancha de arena, basándose en las recomendaciones de la normativa (NLT-335/00 2000) y la norma ASTM D1155, con la cual se obtuvo las diferentes macro-texturas de las probetas prismáticas.

Esta medición de la textura se lo realizó en ambas caras de las probetas, ya que después del compactado de las probetas se observó que ambas caras presentaban texturas variadas, estas texturas representarán a las distintas texturas que se puede hallar en los pavimentos. Es un procedimiento que consiste en la cuidadosa aplicación de un volumen conocido de material sobre la superficie del pavimento y el posterior cálculo de la profundidad de textura a partir de la medición del diámetro promedio formado de la mancha de arena de material esparcido. La arena utilizada tiene una granulometría especificada en el método. El procedimiento del ensayo se realiza de la siguiente manera:

Debe limpiarse la superficie del pavimento donde se realizará el ensayo, la limpieza debe realizarse con un cepillo de pelo blando.

Se debe verter la arena contenida en el recipiente en el punto donde quiera realizarse el ensayo. Con ayuda de la cara plana de goma del tampón se extiende con movimientos circulares hasta conseguir una superficie enrasada aproximadamente circular y asegurándose de que la arena ocupe todos los vacíos generados por las depresiones. Se mide el diámetro del círculo de arena con una regla.

Figura 2.10. Esquema del ensayo del círculo de arena



Fuente: NLT-335/00 2000, Measurement of surface macro-texture of a pavement by the volumetric method

Figura 2.11. Medición de la textura superficial



Fuente: Elaboración propia.

La Asociación Mundial de Carreteras AIPCR, nos brinda Criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta los valores de PT.

El cálculo de la textura o rugosidad de la superficie se lo realiza mediante la siguiente ecuación:

$$PT = \frac{V * 1000}{\pi * R^2}$$

Donde:

PT = Promedio del espesor de la rugosidad de la superficie, en mm.

V = Volumen de la muestra, en cm³.

R = Radio del área cubierta por el material, en mm.

2.9.10.2. Realización del ensayo

Puesto que las superficies sobre las que se va a extender el filler son conocidas, en lugar de emplear un volumen fijo del mismo se determina el peso de filler necesario para enrasar las superficies.

En el caso de los segundos ensayos de corte, en los que mide la macro-textura superficial, el ensayo se realiza sobre la cara de contacto de la capa inferior sobre la que se va a aplicar el riego de adherencia para posteriormente compactar la segunda capa encima cuando el riego haya curado. Para medir la macro-textura, se coloca dicha capa a nivel del borde del molde para lograr la extensión uniforme del filler ofítico y no dejar huecos

superficiales sin rellenar. Una vez realizado esto, se pesa el conjunto de molde más probeta. Posteriormente, se extiende el filler sobre dicha capa para rellenar todos los huecos superficiales, se allana y elimina el filler sobrante (Figura 3.12), para finalmente volver a pesar el conjunto de molde, probeta y filler. La diferencia entre el peso final y el inicial indica el peso del filler aplicado, el cual relacionándolo con su densidad y la superficie de aplicación (diámetro 100.00 mm) nos proporciona la equivalencia de altura del filler aplicado.

Figura 2.12. Extensión del filler en probetas circulares



Fuente: Elaboración propia.

Más detalle anexo A

2.9.10.3. Perfilómetros

Obtienen un perfil digital de la macro-textura. Existen tres tipos en general: láser, foto seccionamiento y aguja de contacto. El más común es el del tipo láser. Estos equipos miden la altura de un punto sobre el pavimento. Normalmente van instalados en otros equipos pudiendo ser desplazados para su medida hasta una velocidad de 72Km/h. Uno de los Perfilómetros más usados es el siguiente:

2.9.10.4. Perfilómetro video láser RST 24

La evolución de las técnicas de medida de la textura especialmente con sensores láser de alta intensidad de muestreo ha originado un interés creciente por mejorar cuantitativa y cualitativamente la medida de la textura. Con este equipo se determina un valor de la Media Cuadrática de Textura (RMS) de las amplitudes del perfil filtrado de determinadas bandas de longitud de onda.

Se obtienen valores medios cada 20m y para cada uno de los tres rangos de medidas, es decir, evalúa la mega-textura, la macro-textura gruesa

La textura se mide usando cámaras láser de 32 kHz. Para cada rodada, pudiéndose configurar para cada usuario.

2.9.10.5. Drenómetros

Miden el tiempo de drenaje. Se utiliza un cilindro transparente con un volumen establecido. Este cilindro tiene un obturador de caucho entre el cilindro y el pavimento. El cilindro es llenado de agua y se mide, con un cronómetro, el tiempo que tarda en evacuar el agua. El inverso del tiempo representa la medida de textura, que es la que determina el flujo de agua.

2.9.11. Ensayos para evaluar la macro-textura del pavimento

Existen diferentes tipos de ensayo que evalúan la resistencia al deslizamiento. Entre estos están: SCRIM, Mu Meter, Griptester y el Péndulo TRRL. Debido a la importante influencia del agua en esta propiedad es que estos métodos han optado por normalizar los ensayos en condiciones de pavimento mojado.

2.9.11.1. Péndulo de fricción TRRL:

Figura 2. 13. Equipo péndulo de fricción



Fuente: Elaboración propia.

Este equipo mide el coeficiente de fricción para velocidades menores a 50 km/h. Se usa tanto para medir el CFL como el CFT, dependiendo de la ubicación del equipo.¹¹

Se utiliza sobre una superficie húmeda, dejando desplazarse un péndulo, que tiene debajo una zapata. Este recorre una distancia normalizada en la superficie a medir

Hasta el reposo. Esta pérdida de energía por la fricción que tiene el pavimento se registra en una escala graduada que tiene incorporado.

2.10. Definición de riego de liga.

En la construcción de una carretera en donde la capa de rodamiento está constituida por dos capas asfálticas que se suponen que van a estar totalmente unidas, trabajando de forma solidaria. Para ello, durante su construcción, se procede a la aplicación de un riego de adherencia o “**riego de liga**”, se define como riego de liga a la aplicación de una emulsión asfáltica o asfalto rebajado sobre una capa asfáltica o una capa granular debidamente compactada.

Es la aplicación de la emulsión asfáltica sobre un suelo mejorado denominado capa base o un pavimento ya existente y se utiliza para obtener una buena adherencia con la nueva capa asfáltica a construir.

La emulsión comúnmente usada para este trabajo es la emulsión de tipo catiónico de ruptura rápida. En algunos casos se utilizan emulsiones medias. El objetivo es lograr una capa fina y uniforme de emulsión la cual liberará el asfalto luego de romper. Es importante determinar la cantidad de emulsión a aplicar de acuerdo al estado de la carpeta existente. Esta cantidad será lo suficiente para lograr una adecuada adherencia entre las capas asfálticas evitando los excesos que podrían provocar exudación del asfalto.

La capa de rodamiento está constituida por dos capas asfálticas que se suponen que van a estar totalmente unidas, trabajando de forma solidaria. Para ello, durante su construcción, se procede a la aplicación de un riego de adherencia o “riego de liga”, la cual es una aplicación ligera de emulsión asfáltica o asfalto rebajado sobre un pavimento existente,

¹¹Cfr. Roco, Fuentes, Valverde 2003

para asegurar la adherencia entre la superficie de las capas asfálticas que se superpone. Dos características esenciales del riego de liga son: (a) debe ser muy delgado y (b) debe cubrir uniformemente el área a ser pavimentada de forma que el comportamiento de todas ellas sea lo más parecido a un elemento monolítico.

La adherencia final conseguida entre capas depende no sólo de cómo se haya realizado el riego, de que la dosis sea la apropiada, de que se haya adherido bien a la capa inferior, o de que el tráfico de obra no lo haya levantado, sino también de cómo se ha ejecutado la nueva capa. Sin embargo, durante la fase de construcción, esta propiedad apenas se controla. El control se reduce a una mera inspección visual del riego efectuado y al control de la dotación del mismo, pero no se verifica la calidad final conseguida en la adherencia de las capas, que es lo que en realidad se debería medir.

Figura 2.14. Dotación de riego de liga



Fuente: <http://www.dot.ca.gov/hq/construc/publications/tackcoatguidelines.pdf>

2.11. Componentes del riego de liga

El riego de liga puede hacerse con emulsión asfáltica como la CSS-1h, con una composición de 60 % de asfalto, 40 % de agua y emulgente, este tipo de emulsión se empezó a utilizar en nuestro país a partir del año 1993 y cuya práctica se mantiene hasta la fecha. El objetivo de esta capa es llenar los vacíos y ligar sobre la totalidad de la

superficie, como resultado de la experiencia práctica la dosificación de emulsión asfáltica varía de 0.15 a 0.70 l/m².

Para el riego de liga se pueden utilizar asfaltos rebajados como el RC- 250, que fue muy utilizado, cuando no se usaban las emulsiones asfálticas; Pero hoy con los nuevos convenios de medio ambiente se prohíbe su uso, por tener un elevado grado de contaminación ambiental y su alto costo para colocarlo ha provocado que ya no se utilice.

El asphalt institute define a la emulsión asfáltica para uso vial, como aquella “emulsión de betún asfáltico en gasolina o diésel que contiene pequeñas cantidades de agente emulsificante; es un sistema heterogéneo que contiene dos fases normalmente inmiscibles (asfalto y agua), en el que el agua forma la fase continua de la emulsión y la fase discontinua está constituida por pequeños glóbulos de asfalto.

Los asfaltos emulsificados pueden ser de tipo aniónico o catiónicos, según el tipo de agente emulsificante empleado.”

2.12. Propiedades del riego de liga

El riego de liga al ser una combinación de cemento asfáltico con un emulsificante para que este tenga una propiedad importante que es la adherencia, que es capacidad de generar una unión entre dos capas diferentes de un pavimento flexible como son la capa base y la capa de rodadura.

Otra propiedad es su baja viscosidad que se opone al movimiento del líquido y no se generen charcos de riego de liga en la superficie.

La emulsión comúnmente usada para trabajos es la emulsión de tipo catiónico de ruptura rápida lo que hace que una vez colocado en la superficie esta se evapore y penetre de manera más rápida en la superficie de colocado.

2.13. Importancia del riego de liga

La literatura internacional señala la utilización del riego de liga como material adherente para la colocación de sobrecapas.

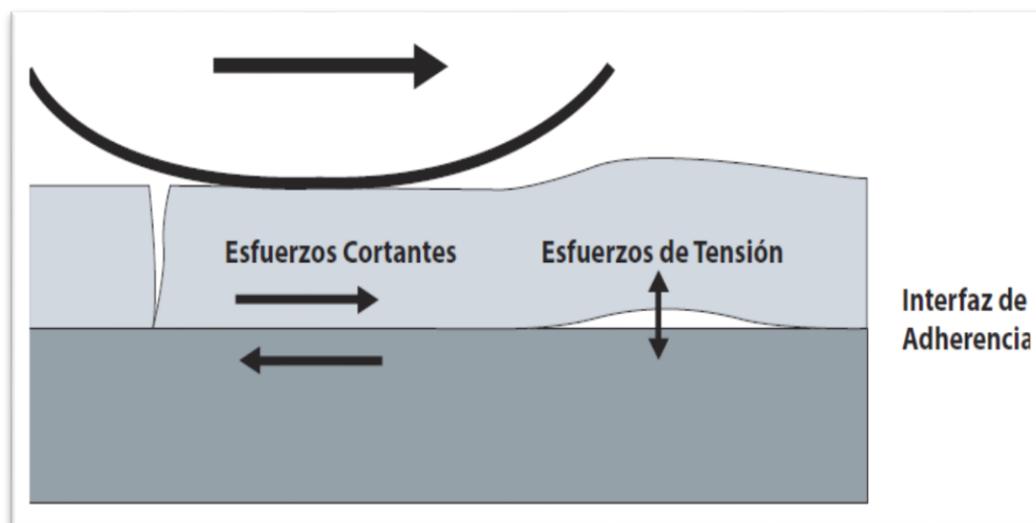
La interfaz de adherencia entre la capa existente y la nueva capa colocada influye considerablemente en la distribución de los esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento.

Estudios realizados sobre la interfaz de adherencia del pavimento (Shanin et al., 1987 y Chen, 1992) han indicado que el riego de liga proporciona una adecuada unión entre las capas del pavimento, la cual es crítica para transferir los esfuerzos cortantes y radiales de tensión a la estructura de pavimento.

Por otro lado, si la interfaz de adherencia entre la capa nueva y la existente no puede proveer la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de tránsito, puede ocurrir una falla por cortante.

La insuficiencia de adherencia entre la capa existente y la nueva capa, puede causar además que los esfuerzos de tensión se concentren en la fibra inferior de la nueva capa de rodadura. Esta concentración de esfuerzos acelera la aparición del agrietamiento en la superficie de la vía por fatiga en la superficie y el deterioro del resto de la estructura del pavimento.

Figura 2.15. Estado de esfuerzo en interfaz de adherencia



Fuente: Tesis universidad de Chile de nombre, “Estudio experimental de la resistencia de adherencia entre capas”

Lo anterior es explicado por nuevos modelos que contemplan el efecto de una pobre adherencia entre capas (Khweir y Fordyce, 2003). El modelo tradicional de agrietamiento por fatiga considera la concentración de esfuerzos de tensión así como el inicio y propagación de grietas a la superficie en la última fibra del espesor de total de las capas asfálticas que constituyen la estructura del pavimento, al suponer que las capas se encuentran debidamente adheridas y que el pavimento funciona como un sistema monolítico. No obstante, los nuevos modelos sugieren que en capas asfálticas con pobre adherencia, la concentración de esfuerzos se presentará tanto en la última fibra de la capa existente así como en la última fibra de la nueva capa asfáltica colocada al encontrarse estas dos desligadas, razón por la cual las investigaciones consideran la aparición y propagación de grietas por fatiga para cada una de las capa asfálticas (ver Figura 2.14). Esto repercute como se explicó anteriormente en un deterioro acelerado de la estructura del pavimento.

Otro aspecto que se consideran en los nuevos modelos es que si el agrietamiento inicia sobre la superficie hacia la interfaz de adherencia, el agrietamiento no se propagará hacia abajo de las capas de la estructura existente sino más bien generará un posible plano de deslizamiento en la interfaz de adherencia.

Dos características esenciales del riego de liga son: (a) debe ser muy delgado y (b) debe cubrir uniformemente el área a ser pavimentada de forma que 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, ocasionando deterioros prematuros en el pavimento y una reducción de su vida de servicio.

Mencionado así algunos artículos al respecto de problemas con el mal riego de liga: Van Dam¹. En un informe de la administración federal de aviación y Shahin¹ en dos artículos de revistas independientes, informaron sobre los efectos del deslizamiento de las capas de un pavimento de mezclas asfálticas en caliente (HMA), y sobre el comportamiento del pavimento utilizando diversos modelos mecanicistas.

Los autores informaron que incluso un ligero deslizamiento de una superposición, provoca una redistribución de las tensiones dentro de un pavimento. El deslizamiento entre capas

en la superposición llega a causar grandes deformaciones por tracción que se producen en la parte inferior de la superposición. Si se ha producido el deslizamiento, cargas horizontales sólo puede recibir ayuda de la capa que resbaló y la resistencia a la fatiga del pavimento podría convertirse en una función de la vida de fatiga de sólo la superposición, reduciendo en gran medida la vida de fatiga de todo el pavimento. Se utilizó el análisis matemático para demostrar que las distribuciones de esfuerzos en las interfaces de capa son afectadas por condiciones de interfaz y que un débil enlace de interfaz entre las capas del pavimento podría dar lugar a grietas en forma de medialuna en la superficie.

Hachiya² y Sato² demostraron a través de análisis mecanicista que pueden ocurrir deslizamiento de capas o separación, si las tensiones de cizallamiento en la interface logran superar su resistencia al corte. Y por lo anteriormente expuesto concluyeron que las consecuencias del deslizamiento de las capas asfálticas son las siguientes:

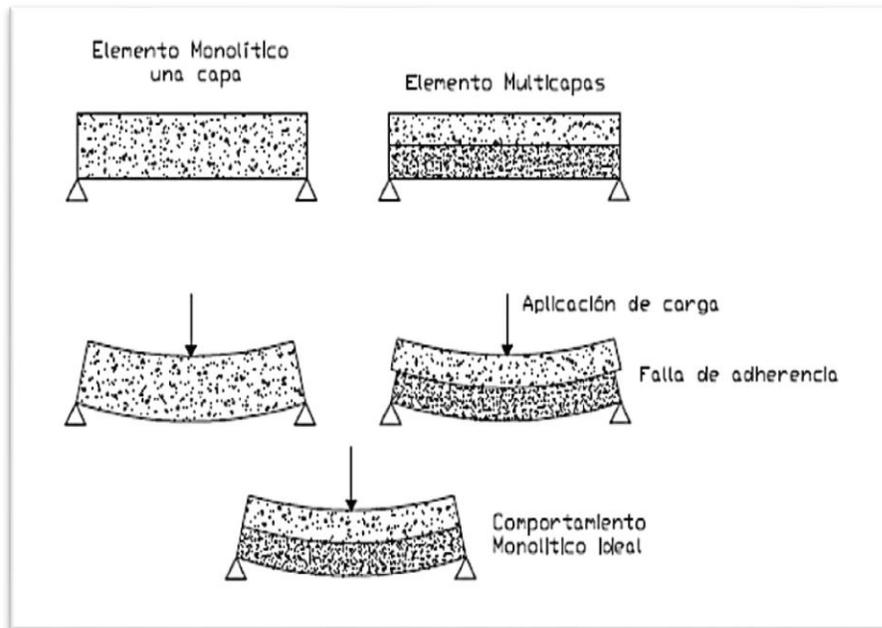
Van Dam.¹ Informó de que la falta de unión entre las capas de un pavimento de asfalto acorta la vida útil del pavimento tan drásticamente que las medidas adecuadas se deben tomar durante la construcción para asegurar la unión.

Shahin¹. Ha informado de que un pavimento con una capa deslizada requeriría la eliminación o la sustitución en lugar de un segundo recubrimiento debido al grosor excesivo de recubrimiento adicional requerido para mantener los esfuerzos de tracción por debajo de los niveles aceptables.

Dunston². El riego de liga, quizás a través de la circulación del tráfico, después de la construcción, contribuyó a la rotura de un HMA durante la compactación.

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

Figura 2.16. Comparación de viga monolítica y viga multicapa



Fuente: Tesis universidad de Chile de nombre, “Estudio experimental de la resistencia de adherencia entre capas”

Figura 2.17. Dotación de riego de liga no uniforme



Fuente: <http://www.dot.ca.gov/hq/construc/publications/tackcoatguidelines.pdf>

2.14. Aplicación del riego de liga

La cantidad de ligante asfáltico residual sobre la superficie del pavimento es el factor más importante en la obtención de un vínculo adecuado entre la superficie del pavimento existente y la nueva capa de mezcla en caliente de asfalto. En consecuencia, la tasa de aplicación de una emulsión o asfalto diluído utilizada como riego de liga deberá basarse en la cantidad deseada del residuo asfáltico estipulado por las especificaciones particulares de la obra.

La cantidad de aplicación para riegos de liga recomendados por el Instituto de Asfalto es normalmente de 0.25 a 0.70 litros por metro cuadrado, tanto para emulsiones y asfaltos líquidos, generalmente de curado rápido.

La aplicación de riego de liga debe ser uniforme, sobre toda la superficie que quedará en contacto con el refuerzo. La aplicación del riego de liga es generalmente mediante camiones distribuidores. Por lo cual se deberá tener pleno conocimiento del caudal de erogación de la bomba dispersora y un adecuado control de la velocidad de avance del camión regador. El camión regador posee en su parte posterior una barra pulverizadora dónde se alojan las boquillas dispersoras. La altura de la barra dispersora debe ser la adecuada para brindar una correcta y uniforme cobertura de la superficie.

2.15. Falla por adherencia en pavimento flexible

Durante su vida útil los pavimentos asfálticos están sometidos a distintos tipos de esfuerzos. El cálculo estructural de los distintos componentes se realiza suponiendo que existe una perfecta adherencia entre las distintas capas. Se asume que éstas se comportan de manera monolítica, sin embargo esto no ocurre en la realidad. Problemas como “fisuras o grietas parabólicas” así como un “arrollamiento transversal”, son patologías que pueden ser atribuídas a una deficiencia en la adherencia de las capas de la estructura del pavimento. La calidad de los materiales, así como una correcta fase constructiva deberán asegurar el mejor comportamiento del pavimento terminado.

Los pavimentos flexibles basan su comportamiento en la capacidad de deformación ante la sollicitación de las cargas del tránsito y las cargas térmicas. Para absorber tales cargas

estos pavimentos se constituyen en varias capas, las cuales poseen propiedades resistentes diferentes, disminuyendo su calidad a medida que aumenta la profundidad dentro del paquete estructural.

El pavimento asfáltico es entonces, por naturaleza, un sistema multicapa en que sus partes componentes deben estar adheridas entre sí para brindar una solidaridad resistente.

Cuando la adherencia entre capas asfálticas no es buena, la carpeta de rodamiento suele fisurarse de manera temprana, ante las sollicitaciones del tránsito. Esta falta de vínculo se traduce también, en una mala o nula distribución de tensiones en el espesor total del pavimento.

El concepto de sistema multicapa sometido a una sollicitación de flexión, puede asimilarse al de una viga, donde su resistencia se incrementa en función de su altura y considerando una adherencia total entre sus partes componentes de la misma. Si la viga estaría formada por varias capas de espesor delgado colocadas simplemente apoyadas unas sobre otras sería menos resistente que una viga monolítica de igual altura total, o la misma viga de delgadas capas pero adheridas fehacientemente entre ellas. Esto puede demostrarse con la teoría básica de flexión que dice que la tensión debida a flexión en cualquier sección es directamente proporcional al momento flector “M”, e inversamente proporcional al módulo de resistencia de la sección “W”.

Es sabido también que para elementos de sección rectangular, como puede considerarse una muestra de estudio de un pavimento, el módulo resistente es directamente proporcional al cuadrado de su altura, con lo cual se evidencia la importancia de poseer espesores de capa considerables y netamente adheridos entre sí.

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{bh^3}{6}}$$

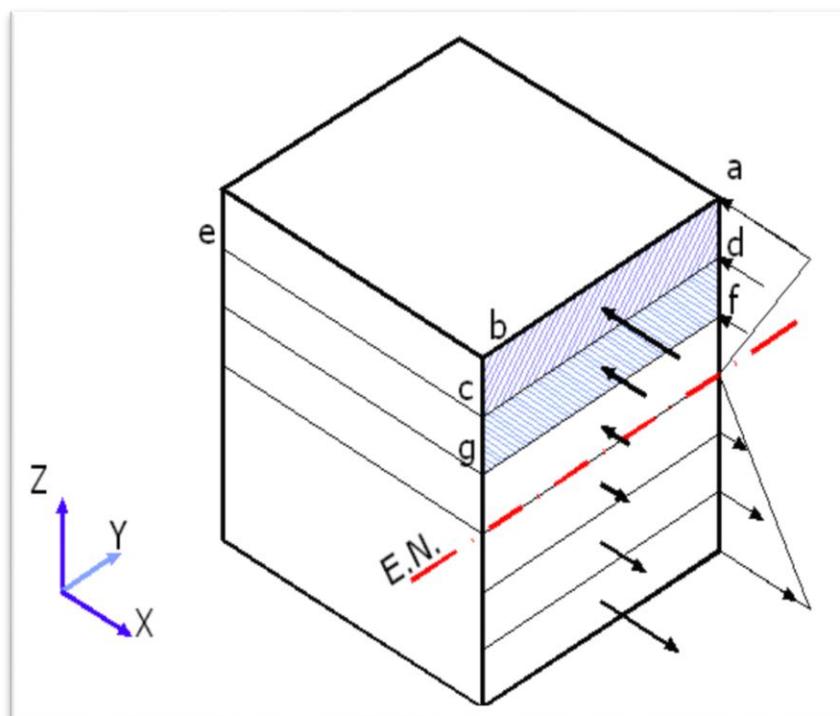
Ahondemos más en este concepto y en la comprensión del mecanismo de resistencia a la flexión.

Ante una viga sometida a flexión simple, los esfuerzos presentados en una sección de la misma se ven representados en la figura 2.17.

Se aprecia que la mitad superior de la sección estará sometida a esfuerzos de compresión, no obstante ello, la semi parte inferior lo estará a tracción. Por la condición de equilibrio de fuerzas en el eje X en toda la sección, las fuerzas de compresión quedan equilibradas con las de tracción.

Ahora bien, si se analizase sólo una de las láminas de la sección, por ejemplo la delimitada por abcd, el esfuerzo de compresión resultante en la misma sólo sería equilibrado por un esfuerzo cortante y de sentido opuesto a la compresión desarrollado en el plano dce. Este esfuerzo cortante se ve materializado por la adherencia en los sistemas multicapas, es allí entonces donde reside su importancia.

Figura 2.18. Esquemas de fuerza de compresión y tracción en viga sometida a flexión



Fuente: Tesis universidad de Chile de nombre, “Estudio experimental de la resistencia de adherencia entre capas”

Como la fuerza de compresión total aumenta hasta el eje neutro, es allí donde se requiere una resistencia de adherencia de mayor importancia para contrarrestar su efecto.

De esta manera queda demostrado que ante solicitaciones de flexión la adherencia entre las partes componentes de un paquete estructural es de suma importancia.

La falla por adherencia en pavimentos se ve manifestada por corrimientos, o corrugaciones.

Según el manual de identificación de fallas de la **federal highway administration** los corrimientos o **shoving** son desplazamientos longitudinales localizados en áreas de la superficie del pavimento; generalmente causados por el frenado brusco de los vehículos o las aceleraciones que suelen darse en pendientes, curvas o intersecciones. Como consecuencia de ese desplazamiento longitudinal viene aparejado un desplazamiento vertical, ya que la mezcla que se desliza tiende a acumularse en una instancia posterior. La manera de cuantificar esta falla es midiendo la superficie afectada y expresándola en metros cuadrados.

Figura 2.19. Falla de tipo Shoving o corrimiento fotográfico



Fuente: Distress Identification manual for the long-term pavement, Federal highway administration U.S. Department of transportation EE.UU. año 2003

El manual centroamericano de mantenimiento de carreteras define al término Corrimiento o **Shoving** como: Distorsiones de la superficie del pavimento por desplazamiento de la mezcla asfáltica, a veces acompañados por levantamientos de material formando "cordones", principalmente laterales, o bien por desplazamiento de la capa asfáltica sobre la superficie subyacente, generalmente acompañada de un levantamiento hacia el eje de la carretera donde se visualiza claramente.

Típicamente puede identificarse a través de la señalización horizontal del pavimento, observando demarcación de los carriles, por efecto de corrimiento.” Asegura también que una de las principales causas es la inadecuada ejecución del riego de liga, dando como resultado la escasa adherencia entre la capa asfáltica de rodadura.

El corrimiento puede venir acompañado de otro tipo de falla identificada como fisuras en arco las cuales se deben a una deficiencia de adherencia entre las capas del pavimento. También hace alusión a la falla por corrugación o **corrugation** como: “Serie de ondulaciones, constituídas por crestas y depresiones, perpendiculares a la dirección del tránsito, las cuales se suceden muy próximas unas de otras, a intervalos aproximadamente regulares, en general menor de 1.0 metro entre ellas, a lo largo del pavimento”.

Figura 2.20. Falla de tipo Shoving o corrimiento, esquema y fotografía



Fuente: Distress Identification manual for the long-term pavement, Federal highway administration U.S.

Department of transportation EE.UU. año 2003

Figura 2.21. Falla de tipo fisura en arco, esquema y fotografía



Fuente: Distress Identification manual for the long-term pavement, Federal highway administration U.S. Department of transportation EE.UU. año 2003

Estas tipologías de fallas es muy común observarlas en zonas donde el pavimento está sometido a alta exigencias de frenado, aceleraciones y movimientos de vehículos girando; y se deben en parte a la falta de adherencia de la carpeta de rodamiento con los sustratos inferiores. Estas fallas también pueden deberse a fallas en las técnicas de colocación y en defectos de la mezcla empleada.

En recapados asfálticos, el reflejo temprano de las fisuras existentes en la nueva capa de mezcla de refuerzo, denota una baja o nula adherencia entre las capas resistentes.

2.16. Procedimiento de puesta en obra del riego de liga

Previa aplicación del riego de liga, la superficie de apoyo debe ser regular y no debe exhibir deterioros. Asimismo, debe estar libre de manchas o huellas de suelos cohesivos, los que deben eliminarse totalmente de la superficie.

Inmediatamente antes de proceder a la aplicación de la emulsión, la superficie a regar se debe limpiar de materiales sueltos o perjudiciales y secos. Para ello se deben utilizar barredoras mecánicas o máquinas de aire a presión, u otro método.

Asimismo, si la superficie a regar fuera un pavimento asfáltico en servicio, se deben eliminar, mediante fresado, los excesos de ligante asfáltico que hubiera y se deben reparar los deterioros que pudieran impedir una correcta adherencia del riego de liga.

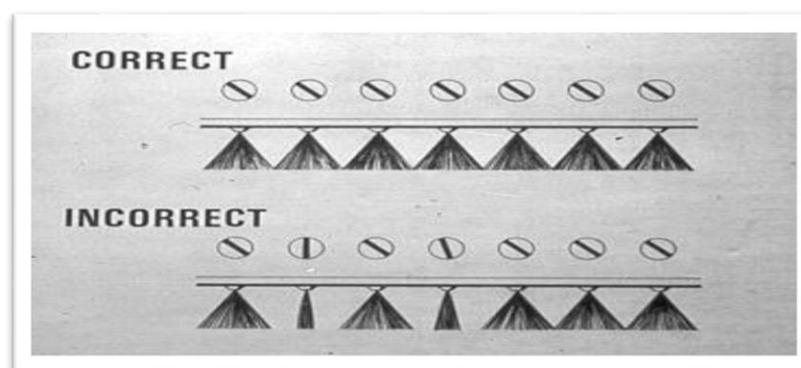
Cuando la superficie a regar se encuentre en las condiciones fijadas anteriormente, se debe aplicar el riego de liga, con la dotación y la temperatura definida en la obra.

La distribución del riego de liga se debe efectuar de manera uniforme, evitando duplicarla en las juntas transversales de trabajo. Donde fuera preciso regar por franjas, se debe procurar una ligera superposición del riego en la unión de las mismas. Se debe garantizar la aplicación del riego de curado de manera uniforme, sin la formación de estrías ni acumulaciones en superficie, garantizando la dotación especificada.

El control para la puesta en obra del riego de liga se reduce a una mera inspección visual del riego efectuado y al control de la dotación del mismo.

Vehículo distribuidor.- Varios ajustes relacionados con vehículos son fundamentales para lograr la colocación de riego de adherencia uniforme. Esencialmente, los patrones de rociado, altura de la barra de spray y de la presión de distribución deben trabajar juntos para producir la aplicación uniforme de riego de liga. En general, las mejores aplicaciones de los resultados de un "doble vuelta" o la cobertura de "triple vuelta". "doble / triple de vuelta" significa que los patrones de rociado de la boquilla se solapan entre sí de tal manera que cada porción de la zona recibe aerosol de exactamente dos / tres boquillas, figura 2.13.

Figura 2.22. Patrones de rociado



Fuente: Departamento de transporte de Texas, Estados Unidos de América. Boletín técnico, correcta aplicación de riego de liga (2011)

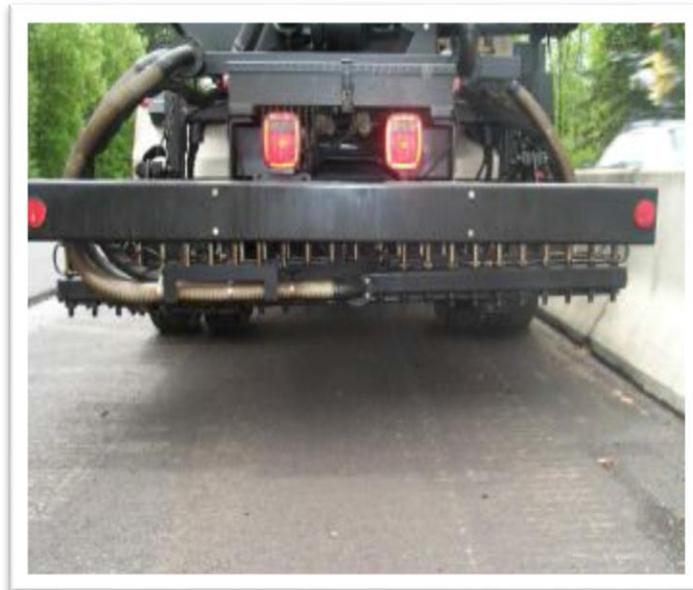
La altura de la barra de spray debe permanecer constante cuando se aplica una capa ligante. La barra de spray excesivamente baja da lugar a rayas, mientras que las barras de spray excesivamente altas causan solapamiento que se produce en una tasa de aplicación excesiva.

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

Temperatura dentro del distribuidor debe mantenerse entre aproximadamente 24° C (75° F) y 54° C (130° F). El exceso de calor puede causar que la emulsión se rompa cuando aún estaba en el distribuidor.

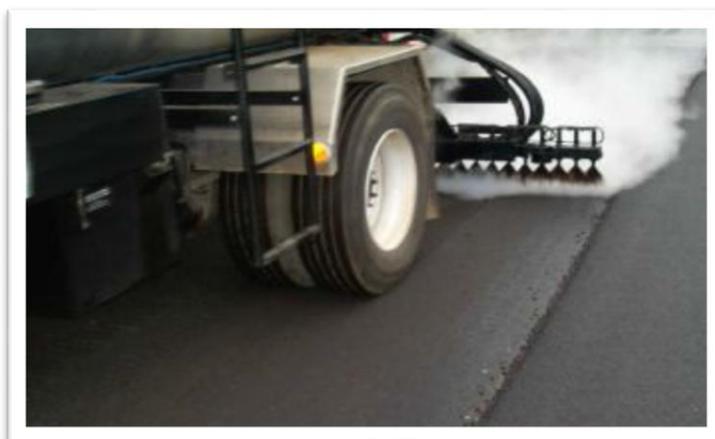
La adherencia final conseguida entre capas depende no sólo de cómo se haya realizado el riego, de que la dosis sea la apropiada, de que se haya adherido bien a la capa inferior, o de que el tráfico de obra no lo haya levantado, sino también de cómo se ha ejecutado la nueva capa. Sin embargo, durante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

Figura 2.23. Boquillas de distribución del camión distribuidor de riego de liga



Fuente:http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_surface_preparation.htm

Figura 2.24. Proceso de aplicación del riego de liga



Fuente:http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_surface_preparation.htm.

2.17. Condiciones que debe tener la superficie para recibir el riego de liga

La superficie del pavimento de la recepción de la capa ligante, debe estar limpia y seca para promover la máxima unión. Los materiales para capa ligante se pueden aplicar a pavimento fresco y / o húmedo.

La superficie debe estar libre de impurezas como polvo, hojas de plantas, plásticos y otros objetos que afecten al riego de liga.

La superficie debe estar debidamente compactada de acuerdo a especificaciones técnicas requeridas para cada capa que compone la estructura del pavimento flexible.

La superficie debe ser uniforme sin presentar desniveles a lo largo de toda su longitud.

La Aplicación de riego de liga debe resultar en una capa fina y uniforme de material ligante ya se emulsión asfáltica o asfalto rebajado, que cubre aproximadamente el 90% de la superficie del pavimento.

Para lograr este resultado, la tasa de aplicación variará sobre la base de la condición del pavimento de la recepción de la capa ligante; Demasiado o poco riego de liga puede dar lugar a la unión inadecuada entre capas; El exceso de riego de liga puede crear un plano de deslizamiento lubricado entre capas, o puede hacer que el material de riego de liga que

se introduce en una superposición, lo que afecta negativamente a las propiedades de la mezcla.

2.18. Errores más frecuentes que se comete con los riegos de liga

Dentro de las fallas o errores que se dan a la hora de colocar el riego de liga podemos mencionar los siguientes:

Tasa de aplicación del riego de liga.- Con respecto a este punto se han llevado a cabo diversos estudios los cuales señalan tanto que un exceso de riego de liga, una cantidad insuficiente de ésta conduce a una pérdida de adherencia entre capas, por el contrario algunos estudios demuestran que en algunos casos el riego de liga es innecesario.

Es importante señalar que la tasa de aplicación óptima dependerá de las condiciones de la superficie de las capas de asfalto, las cuales pueden variar según el tipo de mezcla empleado o si se trata de un pavimento envejecido, nuevo o fresado. Basándose en los antecedentes revisados se observa que en general las dosis óptimas se encuentran en el rango de 0.1 [l/m²] hasta los 0.75 [l/m²].

Figura 2.25. Tasa insuficiente de aplicación del riego de liga



Fuente: http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_surface_preparation.htm

Tiempo de curado del riego de liga.- La mayoría de los estudios señalan que el riego de liga debe encontrarse como película asfáltica ligante (haber alcanzado su quiebre), en el

caso de las emulsiones, previo a la colocación de la siguiente capa asfáltica, mientras que otros estudios realizados sobre el riego de liga indican que no es aconsejable dejar curar demasiado tiempo, ya que el riego puede perder sus propiedades adherentes.

Se recomienda en nuestro medio que una vez se hace el colocado del riego de liga, en nuestro caso convencional se lo debe dejar entre 3 a 5 días para luego realizar la colocación de la carpeta de pavimento flexible.

Existen estudios que sugieren que no es necesario curar el riego de liga, ya que este quiebra inmediatamente gracias a la elevada temperatura de la nueva capa de asfalto, evaporándose el agua y emulsificante y escapando a través de la mezcla suelta a la superficie.

Figura 2.26. Curado del riego de liga



Fuente:http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_surface_preparation.htm

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, ya que en la mayoría de las construcciones no se tiene el trabajo necesario de limpieza de la superficie donde se colocará el riego de liga, ni el cuidado ante la presencia de agua en la capa base ya que tanto el agua, polvo y otras sustancias son perjudiciales para la adherencia entre capas.

Temperatura de confección y compactado.- La temperatura es un factor muy importante no es recomendable trabajar a temperaturas de ambiente menores a los 15 grados ya que influirá de manera negativa en la adherencia, pero vemos que en nuestro medio no se toma con seriedad este tema ya que se trabaja a menores temperaturas de las recomendadas y no se toman las previsiones necesarias para contrarrestar estos efectos.

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

2.19. Maquinaria y equipo utilizado para la aplicación del riego de liga.

Tanques de almacenamiento.- Los tanques de almacenamiento de la emulsión asfáltica deben ser, idealmente, cilíndricos y verticales y estar térmicamente aislados del medio ambiente.

El tanque de almacenamiento debe tener un sistema que permita mantener la temperatura de almacenamiento de la emulsión asfáltica y debe disponer de una válvula adecuada para la toma de muestras.

Para evitar la rotura de la capa de la emulsión en contacto con el aire y la formación de espuma, el caño de alimentación debe llegar hasta el fondo del tanque.

El sistema de bombeo empleado debe ser tal que no ingresen aire a la emulsión.

Todas las tuberías directas y bombas, preferiblemente rotativas, utilizadas para el traspaso de la emulsión asfáltica desde la cisterna de transporte al tanque de almacenamiento, y de éste al equipo de aplicación en obra o mezclado, deberán estar dispuestos de modo que se puedan limpiar fácil y perfectamente después de cada jornada de trabajo.

Camión distribuidor.- El equipo de distribución del riego debe tener un sistema que regule la dotación en función de la velocidad de avance, de manera de obtener un riego uniforme, cumpliendo con la dotación definida en el correspondiente tramo de prueba¹².

El mismo debe ser capaz de mantener la emulsión a la temperatura prescrita y aplicar la dotación de emulsión asfáltica especificada.

La bomba debe generar una presión suficiente en la barra de distribución, de manera que los picos rieguen de forma pareja y deben estar fijados a una sola altura de la superficie.

Figura 2.27. Camión distribuidor del riego de liga



Fuente:http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/pdm/pavement_surface_preparation.htm

2.20. Limitaciones de la ejecución, puesta en obra y habilitación al tránsito

No se permite la puesta en obra del riego de liga en las siguientes situaciones (salvo autorización expresa del inspector de calidad):

Cuando la temperatura ambiente a la sombra resulte inferior a diez grados Celsius (10°C). Dicho límite se puede bajar a cinco grados Celsius (5°C), a juicio del Inspector de Calidad, si la temperatura tiende a aumentar.

La aplicación del riego de liga deberá estar coordinada con la puesta en obra de la capa superpuesta a él, de manera que el ligante no haya perdido su efectividad como elemento de unión. Cuando el Interventor lo estime necesario, se aplicará otro riego de liga.

¹² Evaluación de la adherencia entre capas de pavimento empleando diferentes emulsiones asfálticas Ing. Leticia Ontiveros Rojas ENERO 2013

Los trabajos de aplicación del riego de liga se deberán realizar en condiciones de luz solar. Sin embargo, cuando se requiera terminar el proyecto en un tiempo especificado por el INVÍAS o se deban evitar horas pico de tránsito público.

Está prohibida la circulación de cualquier tipo de vehículo hasta que se haya producido la rotura de la emulsión en toda la superficie aplicada y siempre que no se verifique que parte del riego de liga se adhiere a los neumáticos de los vehículos.

2.21. Presión y temperatura de aplicación del riego de liga

El camión distribuidor deberá tener la capacidad de desarrollar la presión para que el material asfáltico salga expulsado a presión constante y uniforme por cada una de las boquillas de la barra rociadora en forma de abanico hacia la superficie.

Otro aspecto a considerar es la velocidad de bombeo del material durante la operación en orden de asegurar el patrón de rocío. Una presión baja dará como resultado un riego discontinuo por la descarga desigual del material en las boquillas individuales. Mientras que una presión demasiado alta deformará el abanico de riego.

El camión distribuidor debe tener la capacidad de mantener la temperatura de la emulsión para asegurar una adecuada viscosidad y flujo del material a través de las boquillas de barra rociadora.

La temperatura a la que debe mantenerse la emulsión dependerá del tipo de emulsión que se desea aplicar, la literatura sugiere rangos de aplicación de temperatura para emulsiones de rompimiento rápido entre los 21° C y los 60 °C y en emulsiones de rompimiento lento entre los 21°C y 70°C.

Un exceso de calentamiento sobre el material bituminoso podría causar el rompimiento de la emulsión estando aún dentro del tanque del camión dosificador.

2.22. Consideraciones básicas en la aplicación y puesta en obra del riego de liga

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

produce una, superficie ranurada áspera, lo que aumentará el área de superficie de pavimentos existentes en comparación con una superficie lisa.

Figura 2.28. Superficie no uniforme

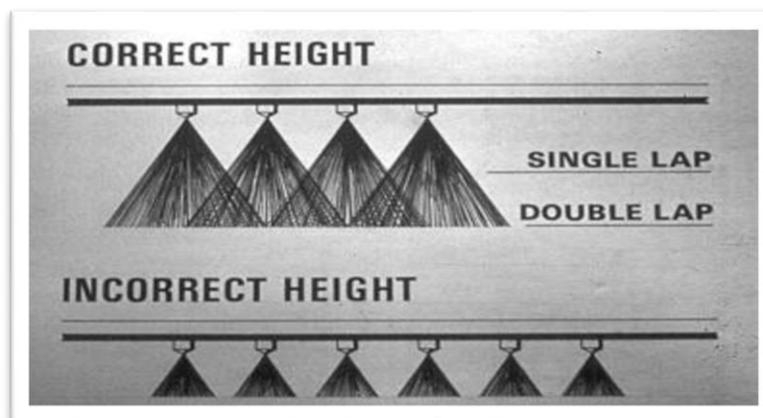


Fuente: <http://www.dot.ca.gov/hq/construc/publications/tackcoatguidelines.pdf>

Vehículo Distribuidor.- Varios ajustes relacionados con vehículos son fundamentales para lograr la colocación de riego de adherencia uniforme. Esencialmente, los patrones de rociado, altura de la barra de spray y de la presión de distribución deben trabajar juntos para producir la aplicación uniforme de riego de liga.

En general, las mejores aplicaciones de los resultados de un "doble vuelta" o la cobertura de "triple vuelta". "Doble / triple de vuelta" significa que los patrones de rociado de la boquilla se solapan entre sí de tal manera que cada porción de la zona recibe aerosol de exactamente dos / tres boquillas.

Figura 2.29. Incorrecta y correcta aplicación de riego de liga por las boquillas



Fuente: Departamento de transporte de Texas, Estados Unidos de América. Boletín técnico, correcta aplicación de riego de liga (2011)

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

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

Temperatura dentro del distribuidor_debe mantenerse entre aproximadamente 24 °C (75°F) y 54°C (130°F). El exceso de calor puede causar que la emulsión se rompa cuando aún estaba en el distribuidor.

2.23. Tramo de prueba

Antes de iniciarse la aplicación del riego de liga, se debe ejecutar el tramo de prueba. El mismo tiene por objetivo efectuar los ajustes y/o correcciones en la dotación de obra, la temperatura de la emulsión al momento de la aplicación, el proceso de distribución del riego de curado y, de corresponder, la distribución y compactación de los áridos de cobertura; todos ellos necesarios para alcanzar la conformidad total de exigencias del presente pliego de especificaciones técnicas generales y del pliego de especificaciones técnicas particulares correspondiente. El contratista debe informar por escrito, adjuntos a la dotación de obra final a emplear, los ajustes llevados a cabo. Los mismos deben ser aprobados por el inspector de calidad.

El tramo de prueba se debe realizar sobre una longitud no menor a la definida por el inspector de calidad, nunca menor a cien metros (100 m).

Con el objetivo de determinar la conformidad con las condiciones y requisitos especificados en el presente documento y en el pliego de especificaciones técnicas particulares, se deben realizar los ensayos establecidos en ambos documentos para el tramo de prueba. El inspector de calidad puede solicitar la ejecución de otros ensayos además de los indicados en el presente documento y en el pliego de especificaciones

técnicas particulares. Los mencionados ensayos pueden ser in-situ, sobre muestras de mezcla asfáltica sin colocar y/o sobre testigos extraídos.

Una vez obtenidos y analizados los resultados, el inspector de calidad debe decidir:

-Si es aceptable o no la dotación de obra. En el primer caso, se puede iniciar la aplicación del riego. En el segundo, el contratista debe proponer las actuaciones a seguir (estudio de una nueva dotación y condiciones de aplicación, corrección parcial de la ensayada, correcciones en el proceso, etc.), de modo de cumplimentar con las exigencias establecidas, en este caso se debe repetir la ejecución del tramo de prueba.

-Si son aceptables o no los equipos propuestos por el contratista para llevar adelante los procesos distribución y control de dichos procesos.

No se puede proceder a la distribución sin que el inspector de calidad haya autorizado el inicio en las condiciones aceptadas después del tramo de prueba.

Los tramos de prueba en los que se verifique el cumplimiento de las condiciones de ejecución y puesta en obra del riego, como así también se verifiquen los requisitos de la unidad terminada definidos en el presente pliego de especificaciones técnicas generales y en el pliego de especificaciones técnicas particulares correspondiente, pueden ser aceptados como parte integrante de la obra.

2.24. Plan de control de calidad de riego de liga

El plan de control de calidad define el programa que debe cumplir el contratista para el control de calidad de los materiales, del proceso de distribución del riego propiamente y de la unidad terminada.

-El plan de control de calidad debe ser entregado por el contratista y aprobado por el inspector de calidad, el mismo debe incluir como mínimo los siguientes aspectos:

-Frecuencia de ensayos (materiales, proceso de distribución del riego de curado y unidad terminada).

-Tiempos de presentación de los mismos.

- Listado de equipamiento con los cuales se deben realizar los ensayos, nunca menor a lo indicado en el pliego de especificaciones técnicas generales para el laboratorio de obra y oficina para el personal de la inspección.

-Certificado de calibración y plan de calibración del equipamiento, que verifique trazabilidad con patrones de referencia.

-Designación y CV del profesional responsable de llevar adelante el plan de control de calidad propuesto por el contratista.

Con la información generada por la implementación del plan de control de calidad se debe elaborar un informe para presentar al inspector de calidad. La frecuencia de presentación de este informe es determinada por el inspector de calidad, nunca esta frecuencia puede ser inferior a:

-Una presentación mensual.

-Cuarenta mil metros cuadrados (4000 m²) de superficie regada.

En el informe se debe volcar la información generada por el cumplimiento del plan de control de calidad: ensayos sobre materiales, sobre el proceso de distribución del riego y de la unidad terminada de los diferentes lotes ejecutados en este período.

En todos los casos en que el inspector de calidad entregue al contratista planillas modelos de cálculo y presentación de resultados de ensayos, las mismas son de uso obligatorio.

El inspector de calidad, o quién éste delegue, pueden supervisar la ejecución de los ensayos, por lo que el contratista debe comunicar con suficiente anticipación su realización.

El inspector de calidad puede disponer el envío de una muestra de cualquier material involucrado en la obra (emulsiones, testigos, etc.) a un laboratorio independiente con el objetivo de auditar periódicamente al laboratorio de control de calidad del contratista.

Dicho laboratorio independiente debe contar con el equipamiento calibrado con patrones trazables siendo deseable y valorada la participación del mismo en programas de interlaboratorio.

Para todos los casos en los cuales se verifique una diferencia en un parámetro determinado entre el laboratorio del contratista y el laboratorio empleado por el inspector de calidad, considerando la misma muestra, el valor que se debe tomar como definitivo es el correspondiente al laboratorio empleado por el inspector de calidad. Si el inspector de calidad lo considera conveniente, se puede emplear la metodología de la normativa ASTM-D3244 para establecer el valor definitivo del parámetro considerado.

Para determinar el equipo de transporte sobre el cual efectuar el muestreo con el cual controlar un lote de producción, se debe emplear el sistema de muestreo aleatorio descrito en norma ASTM D-3665. El método se debe utilizar para determinar puntos sobre la superficie regada para el control de un lote de obra (para extracción de testigos, determinación de puntos de ensayo, etc.). En el método de muestreo se detalla un resumen.

En todos los casos en los cuales se contemple una metodología de muestreo establecida por el IRAM (como por ejemplo la norma IRAM 6599), se debe adoptar ésta como válida.

Para casos extraordinarios donde no sea aplicable lo anterior, el inspector de calidad debe siempre aprobar la metodología de muestreo y/o extracción de testigos; asimismo, el inspector de calidad debe fijar la frecuencia y ubicación.

En virtud de velar por la correcta ejecución del proyecto y control de calidad del mismo, el inspector de calidad puede, respecto al presente plan de control de calidad, agregar ensayos a realizar, aumentar la frecuencia de los ensayos, aumentar la cantidad de muestras y/o testigos a ensayar, aumentar las frecuencias de muestreo, ordenar la extracción de muestras y/o testigos de cierto lugar en particular y ordenar la ejecución de ensayos sobre cierto lugar en particular.

2.25. Plan de ensayo sobre el proceso de distribución del riego de liga

La frecuencia mínima de ensayos del proceso de distribución del riego de liga se resume en la Tabla 2.5.

Independientemente de la frecuencia especificada, se debe realizar al menos una vez cada uno de los ensayos detallados durante la ejecución del tramo de prueba.

Al cambiar un insumo y/o alguno de los materiales componentes del riego de liga se debe presentar una nueva dosificación de obra.

Tabla 2.4 Plan de ensayos sobre el proceso de distribución del riego de liga.

Plan de ensayos sobre el proceso de distribución del riego de liga		
Parámetro	Método	Frecuencia
Dotación del ligante residual	(1)	Cada lote de obra

Fuente: Normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad, Argentina VN-E

2.26. Tipos de emulsión asfáltica a utilizar

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

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

Cuando dos polos (ánodo y cátodo) se sumergen en un líquido y una corriente eléctrica pasa a través de ellos, se convierte en el ánodo cargado positivamente y un cátodo cargada negativamente. Si se pasa una corriente a través de una emulsión que contiene partículas de asfalto cargadas negativamente, que migrarán al ánodo. Por lo tanto, la emulsión se conoce como aniónica.

Por el contrario, las partículas de asfalto cargados positivamente se mueven hacia el cátodo y la emulsión se conoce como catiónica. Con emulsiones no iónicas, las partículas de asfalto son neutrales y no migran a los polos.

Las emulsiones se clasifican sobre la base de la rapidez con que las gotitas de asfalto tardan en fusionarse, (es decir, volver a cemento asfáltico). Los términos RS, MS, SS y QS han sido aprobados para simplificar y estandarizar la clasificación, son términos relativos y sólo significa curado rápido, curado mediano, curado lento y de endurecimiento rápido respectivamente. La tendencia a fusionarse está estrechamente relacionada con la velocidad con que una emulsión se volverá inestable y romper después de contactar la superficie de un agregado. Una emulsión RS tiene poco o ninguna capacidad para mezclarse con un agregado, emulsiones SS y QS están diseñados para mezclarse con agregado fino, con el QS espera romper más rápidamente que el SS.

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

Los números en la clasificación indican la viscosidad relativa de la emulsión. Por ejemplo, un MS-2 es más viscoso que un MS-1. La letra "h" que sigue ciertos grados simplemente significa que se utiliza base de asfalto grado duro. La "s" significa que asfalto base blanda.

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

Emulsiones high float tienen una calidad de gel, impartida por la adición de ciertos productos químicos, que permite una película de asfalto más gruesa en las partículas de agregado y evita que escurra el asfalto del agregado. Estos grados se utilizan

Las emulsiones asfálticas a emplear para la ejecución de riegos de liga deben ser del tipo CRR-0/CRR-1, de acuerdo a la norma IRAM 6691 o CRR-0m/CRR-1m de acuerdo a la norma IRAM 6698, u otra emulsión asfáltica que demuestre en el tramo de prueba, un comportamiento adecuado para esta aplicación.

El pliego de especificaciones técnicas particulares puede exigir propiedades o especificaciones adicionales cuando se vayan a emplear emulsiones asfálticas no encuadradas dentro de la norma IRAM 6691 o IRAM 6698.

2.27. Conservación del riego de liga

El deslizamiento entre capas en la superposición llega a causar grandes deformaciones por tracción que se producen en la parte inferior de la superposición. Si se ha producido el deslizamiento, cargas horizontales sólo puede recibir ayuda de la capa que resbaló y la resistencia a la fatiga del pavimento podría convertirse en una función de la vida de fatiga de sólo la superposición, reduciendo en gran medida la vida de fatiga de todo el pavimento. Utilizaron el análisis matemático para demostrar que las distribuciones de esfuerzos en las interfaces de capa son afectadas por condiciones de interfaz y que un débil enlace de interfaz entre las capas del pavimento podría dar lugar a grietas en forma de medialuna en la superficie. Hachiya y Sato demostraron a través de análisis mecanicista que pueden ocurrir deslizamiento de capas o separación, si las tensiones de cizallamiento en la interface logran superar su resistencia al corte.

La conservación del riego de liga contemplado en el pliego de especificaciones técnicas generales consiste en el mantenimiento de las mismas en perfectas condiciones y la reparación inmediata de cualquier falla que se produjere hasta la colocación sobre el mismo de la capa siguiente inmediata siguiente, hasta la recepción definitiva de la obra o durante el período que indique el pliego de especificaciones técnicas particulares; según corresponda.

Los deterioros que se produzcan deben ser reparados por cuenta del contratista, repitiendo, si fuera necesario al solo juicio del inspector de calidad, las operaciones íntegras del proceso constructivo.

Si el deterioro afectara la base, capas intermedias y/o subrasante, el contratista debe efectuar la reconstrucción de esa parte, sin derecho o pago de ninguna naturaleza cuando la misma haya sido realizada como parte integrante del contrato para la ejecución de ese trabajo. Esto es así aun cuando la calzada haya sido librada al tránsito público en forma total o parcial.

La reparación de depresiones, baches aislados y de pequeñas superficies se debe realizar de acuerdo a lo indicado en el pliego de especificaciones técnicas generales, con los

materiales establecidos en el pliego de especificaciones técnicas generales y en el correspondiente pliego de especificaciones técnicas particulares.

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

2.28. Efectos nocivos para los riegos de liga

El riego de liga es un material bituminoso que es afectado principalmente por la presencia de agua (humedad), que es perjudicial para las propiedades del riego ya que reduce considerablemente el capacidad de adherencia entre la capa base y la capa de rodadura produciendo un desprendimiento del ligante, el cual se traduce en una mayor vulnerabilidad del pavimentó frente a las sollicitaciones de tránsito generando un fallo en la unión dando lugar a deterioros como agrietamientos por fatiga, es por eso que se debe tener mucho cuidado con respecto al clima cuando se va ejecutar la aplicación del riego de liga ya que si llueve antes de que cumpla el curado del riego éste debe volver a ser realizado.

Otro factor dañino para el riego de liga es la presencia de polvo o suciedad en la superficie donde se aplicará el riego de liga, la presencia de polvo disminuirá en las propiedades de adherencia del riego, es por este motivo que es importante realizar la limpieza de la superficie y la eliminación de mayor porcentaje de polvo presente en la superficie.

2.29. Análisis de durabilidad del riego de liga

La durabilidad de un material es una propiedad asociada a la sustentabilidad del mismo, en este contexto el rol del riego de liga es mantener unidas las capa base y la capa de rodadura para que ambas trabajen de forma monolítica, sin embargo aspectos propios de ligante hace que su reologia se vea afectada con el paso del tiempo debido al envejecimiento que experimenta el material.

La durabilidad del riego liga dependerá de la calidad del material a utilizar y de la forma de aplicación del riego ya que se utilizó el análisis matemático para demostrar que las distribuciones de esfuerzos en la capa son afectadas por condiciones de interfaz ya débil enlace de interfaz entre las capas del pavimento podría dar lugar a grietas en forma de medialuna en la superficie. Hachiya y Sato demostraron a través de análisis mecanicista que pueden ocurrir deslizamiento de capas o separación, si las tensiones de cizallamiento en la interface logran superar su resistencia al corte. Y por lo anteriormente expuesto concluyeron que las consecuencias del deslizamiento de las capas asfálticas son las siguientes:

Van Dam.¹ informó de que la falta de unión entre las capas de un pavimento de asfalto acorta la vida útil del pavimento tan drásticamente que las medidas adecuadas se deben tomar durante la construcción para asegurar la unión.

Shahin¹. Ha informado de que un pavimento con una capa deslizada requeriría la eliminación o la sustitución en lugar de un segundo recubrimiento debido al grosor excesivo de recubrimiento adicional requerido para mantener los esfuerzos de tracción por debajo de los niveles aceptables lo que afecta la durabilidad del riego.

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

Durante la ejecución de los trabajos, el supervisor efectuará los siguientes controles:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el contratista.
- Comprobar que los materiales por utilizar cumplan todos los requisitos de calidad exigidos y que en lo posible sean de una sola procedencia.
- Supervisar la correcta aplicación del método aceptado como resultado del tramo de prueba, en cuanto al manejo, transporte y colocación de los tratamientos asfálticos.
- Efectuar ensayos para verificar las dosificaciones de ligante en riegos de liga e imprimaciones.

CAPÍTULO III

INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES Y APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. 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 en grietas prematuras o una disminución significativa en su período 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, 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.

Procediendo primeramente a analizar la superficie o carpeta asfáltica deteriorada y extraer la cantidad de muestras necesarias que actuarán como la capa inferior para realizar la evaluación de adherencia es decir, cómo fue construido, su tiempo o período de vida útil observando el deterioro presente que disminuyó 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 utilizarán 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 determinará el esfuerzo cortante necesario para separar las dos carpetas asfálticas para evaluar la adherencia entre ambas carpetas asfálticas.

3.1.2. Planteamiento de la investigación

En este capítulo se desarrollará la etapa experimental o aplicación práctica de la investigación, el cual se llevará a cabo en dos etapas. La primera corresponde a la selección y caracterización de los materiales de aporte (agregados y cemento asfáltico), así también se realizará dosificación y caracterización de la mezcla asfáltica a utilizar para la confección de las probetas bicapa.

La segunda etapa contemplará el diseño de probetas, para la realización de los ensayos de adherencia con emulsión.

Del ensayo de adherencia se seleccionará el porcentaje óptimo de emulsión que garantice una alta adherencia entre capas, esta tasa de ligante.

Los materiales a ser usados en el presente trabajo deberán cumplir con las especificaciones de las normas AASHTO y ASTM. Para realizar los diferentes ensayos de laboratorio necesarios para elaborar el presente proyecto se hará uso de materiales existentes en el departamento de Tarija, los mismos que se ajustan dentro de las normativas vigentes.

3.1.3. Procedencia de los materiales

3.1.3.1. Caracterización del agregado pétreo Obtención y selección del árido y cemento asfáltico

El material a utilizar debe cumplir ciertas especificaciones que mencionamos anteriormente. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija-Provincia José María Avilés. Que se ajustan dentro de las normativas vigentes. Además de tener una disponibilidad de los agregados.

Ubicación

Se encuentra en la ciudad de Tarija-Provincia José María Avilés a su vez en la comunidad de San José de Charaja en la cual se encuentra la planta de trituración de materiales pétreos y depósitos de cemento asfáltico.

Figura 3.1. Ubicación geográfica Servicio Departamental de Caminos (SE.DE.CA.)



Fuente: Elaboración propia.

Ubicación geográfica satelital $21^{\circ} 46' 55''$ S - $64^{\circ}46' 13''$ W a una altura de 1.831 M.S.N.M.

Figura 3.2. Planta chancadora Servicio Departamental de Caminos (SE.DE.CA.) Fuente:



Fuente: Elaboración propia.

Descripción del tipo de material

Depósito aluvial, donde encontramos materiales como gravas y arenas; los fragmentos rocosos extraídos del río con excavadoras de oruga, luego pasan por un proceso de trituración para obtener los tamaños de agregados requeridos.

Usos en la construcción

Los agregados pétreos de (SE.DE.CA) se pueden emplear en, mezclas asfálticas y hormigones.

Toma de muestra de agregados pétreos

Se tomó muestra de material de agregado triturado 3/4", 3/8" y arena del stock de la planta Asfáltica de SE.DE.CA, la toma de muestra realizada por el método de cuarteo.

Caracterización de agregados pétreos y ligante asfáltico

Los ensayos de agregados pétreos, cemento asfáltico se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Juan Misael Saracho en el Área de Hormigones y Pavimentos en el laboratorios de asfaltos respectivamente.

Agregados pétreos (gruesos y finos)

Un procedimiento preliminar para el diseño de mezclas asfálticas óptimo es la caracterización de los agregados pétreos en laboratorio, los ensayos para áridos gruesos y finos están normados por la AASHTO y/o por su equivalente ASTM en las normas y los resultados de los mismos deben cumplir con las Especificaciones Generales.

3.1.4. Cemento asfáltico

El betún como ligante asfáltico C.A. (85 – 100) con nombre Betunel proveniente del Brasil, fue proporcionado por SEDECA (Servicio Departamental de Caminos).

Tabla 3.1. Especificaciones del cemento asfáltico

Stratura asfaltos				
Betupen plus (C.A. 85/100)				
Especificaciones técnicas del producto	Limites	Método	Reproductibilidad	Encontradas
Penetración a 25 °C 100gr	85-100	AASHTO T-49	4 dmm.	91
Viscosidad Saybolt a 135°C	85 min.	AASHTO T-201	2 %	120
Ensayo de la mancha (T-102)	Negativo	AASHTO T-102	ND	negativo
Punto de ablandamiento (T-53)	43 a 46	AASHTO T-53	3 °C	45
Ductilidad a 25 °C cm (T-51)	100 min.	AASHTO T-51	NBR	>100
Viscosidad de brookfield a 135 °C, Cp	214 min.	AASHTO T-316	ND	290
Viscosidad de brookfield a 150 °C, Cp	97 min.	AASHTO T-316	ND	152
Viscosidad de brookfield a 177 °C, Cp	28 a 114	AASHTO T-316	ND	58
Temperatura de mistura °C	Indicativo	Calculo	ND	141 a 147
Temperatura de compactación °C	Indicativo	Calculo	ND	130 a 136
Índice de penetración	1.5 a 0.5	Calculo/ Calculo	ND	-1.1
Punto de inflamación C.O.C (T-48)	230 min.	AASHTO T-46	ND	>235
Solubilidad (T-44)	99 min.	AASHTO T-44	0.26 %	99.9
Densidad a 25 °C (T-228)	0.99 min	AASHTO T-228	0.005	1.012
Pérdida de masa (T-240)	1 máx.	AASHTO T-240	NBR	0.41
Penetración del residuo	50 min.	Calculo	ND	55
Perdida por calentamiento (T-179)	1 min.	AASHTO T-179	4 dmm.	0.42
Densidad a 25 °C (T-228)	1 a 1.05	AASHTO T-228	0.005	1

Fuente: The asphalt Instute, Manual de Asfaltos.

3.1.5. Emulsificante

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se utilizó como emulsificante el uso de gasolina especial adquirida de la estación de servicio LAS VEGAS, ubicado sobre la Avenida Circunvalación entre la Av. San Bernardo y Colón a un precio de 3.74 bs el litro.

Estos materiales a utilizar en el presente trabajo serán analizados en los diferentes laboratorios de suelos, hormigones y asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.2 Ensayos de caracterización de los materiales

3.2.1. Análisis granulométrico de los agregados (documento referencial ASTM E40 C136 AASHTO T27-99)

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Objetivo

Tiene por objetivo obtener el porcentaje de material que pasa cada tamiz de la serie de tamices estándar y graficar su respectiva curva granulométrica para establecer la distribución de tamaños de los agregados, los cuales deben estar dentro de las especificaciones establecidas.

Figura 3.3. Materiales para ser tamizado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.4. Materiales juego de tamices



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5. Tamizado mediante los tamices normalizados ASTM



Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo

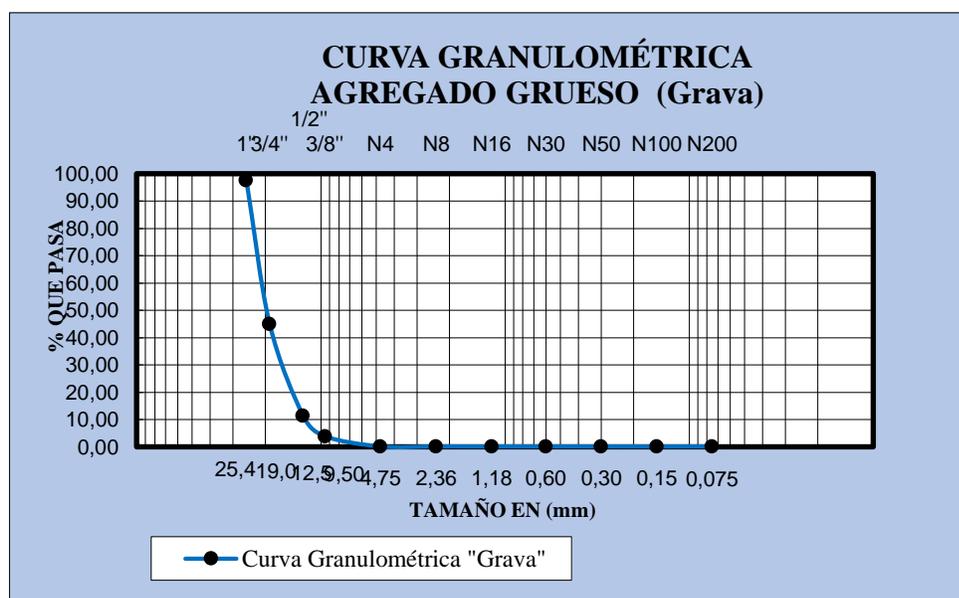
Granulometría agregado grueso (grava)

Tabla 3.2. Resultados de la granulometría del agregado grueso (grava)

Peso Total (gr.)		5000			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25.4	123.00	123.00	2.46	97.54
3/4"	19.0	2624.70	2747.70	54.95	45.05
1/2"	12.5	1680.70	4428.40	88.57	11.43
3/8"	9.50	375.30	4803.70	96.07	3.93
Nº4	4.75	186.90	4990.60	99.81	0.19
Nº8	2.36	0.15	4990.75	99.82	0.19
Nº16	1.18	0.25	4991.00	99.82	0.18
Nº30	0.60	0.10	4991.10	99.82	0.18
Nº50	0.30	0.15	4991.25	99.83	0.18
Nº100	0.15	0.15	4991.40	99.83	0.17
Nº200	0.075	0.20	4991.60	99.83	0.17
BASE	-	7.50	4999.10	99.98	0.02

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6. Curva granulométrica del agregado grueso (grava)



Fuente: Elaboración propia.

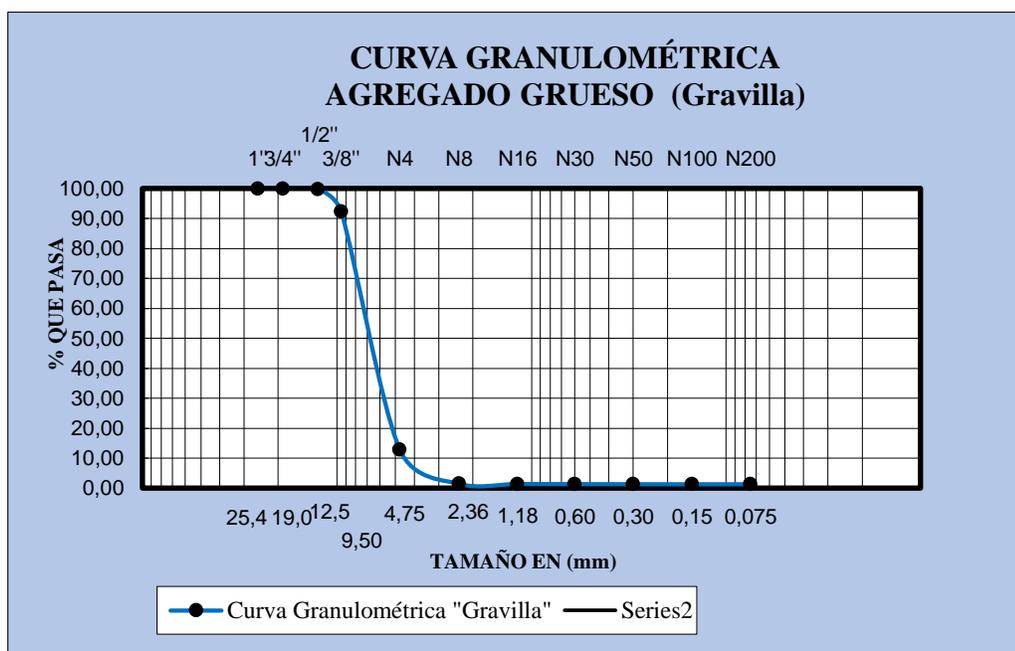
Granulometría agregado grueso (gravilla)

Tabla 3.3. Resultados del análisis granulométrico de la gravilla

Peso Total (gr.)			5000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	6.90	6.90	0.14	99.86
3/8"	9.50	379.00	385.90	7.72	92.28
N°4	4.75	3971.20	4357.10	87.14	12.86
N°8	2.36	571.10	4928.20	98.56	1.44
N°16	1.18	4.10	4932.30	98.65	1.35
N°30	0.60	2.40	4934.70	98.69	1.31
N°50	0.30	1.50	4936.20	98.72	1.28
N°100	0.15	0.80	4937.00	98.74	1.26
N°200	0.075	0.10	4937.10	98.74	1.26
BASE	-	62.80	4999.90	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7. Curva granulométrica del agregado grueso (gravilla)



Fuente: Elaboración propia.

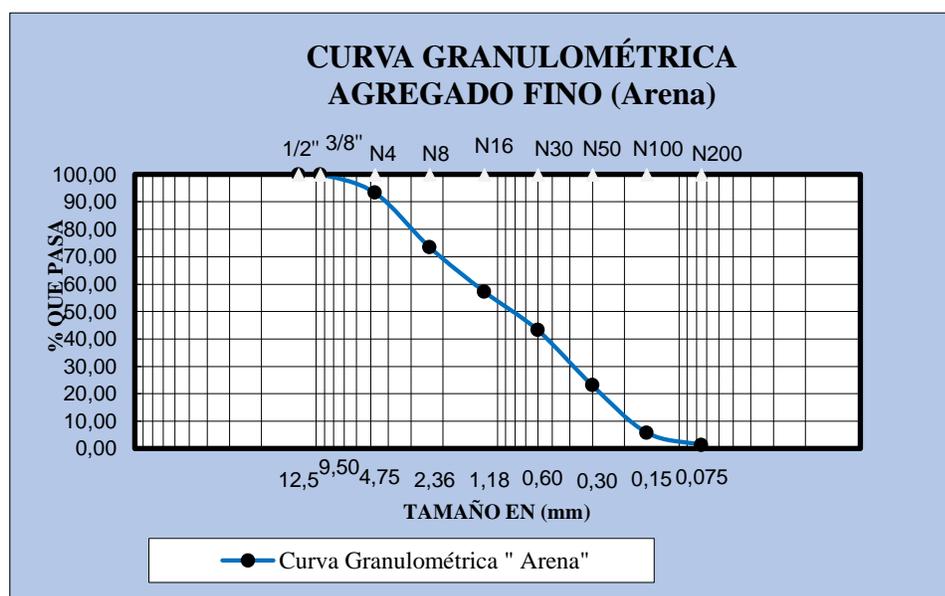
Granulometría agregado fino (arena)

Tabla 3.4. Resultados del análisis granulométrico del agregado fino

Peso Total (gr.)			2000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1/2	12.5	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	133.10	133.10	6.66	93.35
N°8	2.36	399.30	532.40	26.62	73.38
N°16	1.18	323.70	856.10	42.81	57.20
N°30	0.60	279.60	1135.70	56.79	43.22
N°50	0.30	402.80	1538.50	76.93	23.08
N°100	0.15	345.10	1883.60	94.18	5.82
N°200	0.075	89.20	1972.80	98.64	1.36
BASE	-	26.60	1999.40	99.97	0.03

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8. Curva granulométrica del agregado fino (arena)



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.1 Peso específico y absorción del agregado grueso (documento referencial ASTM C127, AASHTO T85)

Este método de ensayo tiene por objeto la determinación del peso específico a “granel” y el peso específico aparente del agregado grueso como ser la grava y la gravilla, y el porcentaje de absorción del agregado grueso.

Resumen del método

Prioramente se realizará la preparación de la muestra pesando porciones de 5000 gr de agregado, tanto de la grava como de la gravilla en estado seco, se sumergirá el material retenido en el tamiz N° 4 con la cantidad especificada durante 24 horas para quitar las impurezas y el material fino del agregado, después del período de inmersión se secará la muestra con un paño con el fin de eliminar el agua superficial, se pesará y se asignará como B, se vuelve a sumergir y se determina el peso sumergido, se designará como C. Se seca entonces la muestra en horno a una temperatura de 110°C, y se determina el peso seco, designado como A, con cuyos datos se realizará el cálculo del peso específico

Figura 3.9. Muestra sumergida por 24 hrs.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.10. Muestra saturada con superficie seca



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.11. Obtención del peso sumergido de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Resultados del ensayo

Peso específico agregado grueso (grava)

Tabla 3.5. Resultados del peso específico del agregado grueso (grava)

Muestra N°	Peso muestra Secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con Sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)	Peso especifico a granel (gr/cm3)	Peso especifico saturado con sup. seca (gr/cm3)	Peso especifico aparente (gr/cm3)	% de absorción
1	4960.45	5038.80	3092.00	2.55	2.59	2.65	1.58
2	4955.15	5043.25	3115.00	2.57	2.62	2.69	1.78
3	4954.37	5042.81	3091.00	2.54	2.58	2.66	1.79
Promedio				2.55	2.60	2.67	1.71

Fuente: Elaboración propia.

Peso específico agregado grueso (gravilla)

Tabla 3.6. Resultados de peso específico del agregado grueso (gravilla)

Muestra N°	Peso muestra Secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con Sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)	Peso especifico a granel (gr/cm3)	Peso especifico saturado con sup. seca (gr/cm3)	Peso especifico aparente (gr/cm3)	% de absorción
1	4784.80	4945.40	3033.00	2.50	2.59	2.73	3.36
2	4784.76	4946.10	3041.00	2.51	2.60	2.74	3.37
3	4784.37	4945.95	3036.50	2.51	2.59	2.74	3.38
Promedio				2.51	2.59	2.74	3.37

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2 Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM C128, AASHTO T84)

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.

Resumen del método

Se pesa aproximadamente 1000 gr. de material, y se sumerge en agua por un período de 24 horas, transcurrido ese tiempo se seca el material hasta alcanzar la condición de saturado con superficie seca, el cual se verifica cuando el material se desmorona al quitar el cono en el que la muestra fue colocada y compactada. De esta condición se extrae 500gr de muestra y se coloca en un matraz que se llena con agua y es pesado, luego la misma se seca al horno, y se determina el peso seco.

Figura 3.12. Material sumergido por un tiempo de 24 hrs.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.13. Verificación de la condición de saturado con superficie seca



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.14. Determinación del peso sumergido

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo**Tabla 3.7.** Resultados del peso específico del agregado fino (arena)

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Peso de matraz (gr)	Arena + matras + agua (gr)	Peso del agua agregad o al matraz "W" (ml) ó (gr)	Peso de muestr a secada "A" (gr)	Volumen del matraz "V" (ml)	P. E. a granel (gr/cm ³)	P. E. saturado con suerofici e seca (gr/cm ³)	P. E. aparente (gr/cm ³)	% de absorcio n
1	500	177.3	989.7	312.40	488.50	500.00	2.60	2.67	2.77	2.30
2	500	177.3	989.6	312.30	489.20	500.00	2.61	2.66	2.77	2.16
3	500	177.3	990.3	313.00	488.90	500.00	2.61	2.67	2.78	2.22
Promedio							2.61	2.67	2.77	2.23

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.3 Peso unitario de los agregados gruesos y finos (ASTM C 29M-97, AASHTO T-27)

Este método de ensayo cubre la determinación del peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos y finos.

Resumen del método

En este ensayo se realizará para peso suelto y compactado, el peso suelto se determina llenando el recipiente con el agregado hasta rebosar, se enrasa el excedente y se pesa.

Para el peso compactado se realiza en tres capas, para ello se llena la tercera parte del recipiente con el agregado, se apisona con una barra metálica, mediante 25 golpes, esto se realiza con las dos capas faltantes.

Finalmente, se llena el recipiente con la última capa hasta rebosar se compacta con 25 golpes y se enrasa el excedente y se procede a pesar determinando con ello el peso unitario compactado.

Figura 3.15. Peso unitario del agregado grueso (grava)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.16. Peso unitario del agregado grueso (gravilla)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.17. Peso unitario del agregado fino (arena)



Fuente: Elaboración propia

Resultados del ensayo

Peso unitario de agregado grueso (grava)

Tabla 3.8. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (grava)

Peso unitario suelto

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso resp. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	5841.70	9790.68	19605.00	13763.30	1.41
2	5841.70	9790.68	19505.00	13663.30	1.40
3	5841.70	9790.68	19490.00	13648.30	1.39
Promedio					1.40

Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario compactado

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso resp. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	5841.70	9790.68	20645.00	14803.30	1.51
2	5841.70	9790.68	20665.00	14823.30	1.51
3	5841.70	9790.68	20658.00	14816.30	1.51
Promedio					1.51

Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario de agregado grueso (gravilla)

Tabla 3.9. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (gravilla)

Peso unitario suelto

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso resp. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	5841.70	9790.68	19623.00	13781.30	1.41
2	5841.70	9790.68	19722.00	13880.30	1.42
3	5841.70	9790.68	19656.00	13814.30	1.41
Promedio					1.41

Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario compactado

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso resp. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm3)
1	5841.70	9790.68	20909.00	15067.30	1.54
2	5841.70	9790.68	20953.00	15111.30	1.54
3	5841.70	9790.68	20946.00	15104.30	1.54
Promedio					1.54

Fuente: Elaboración propia

Peso unitario de agregado fino (arena)

Tabla 3.10. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino (arena)

Peso unitario suelto

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso resp. + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm3)
1	2605.90	2954.80	6979.20	4373.30	1.48
2	2605.90	2954.80	6986.90	4381.00	1.48
3	2605.90	2954.80	7006.60	4400.70	1.49
Promedio					1.48

Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario compactado

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm3)	Peso resp. + muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactado (gr/cm3)
1	2605.90	2954.80	7638.20	5032.30	1.70
2	2605.90	2954.80	7709.40	5103.50	1.73
3	2605.90	2954.80	7707.90	5102.00	1.73
Promedio					1.72

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4 Equivalente de arena (ASTM D2419, AASHTO T176)

Este método establece un procedimiento rápido para 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.

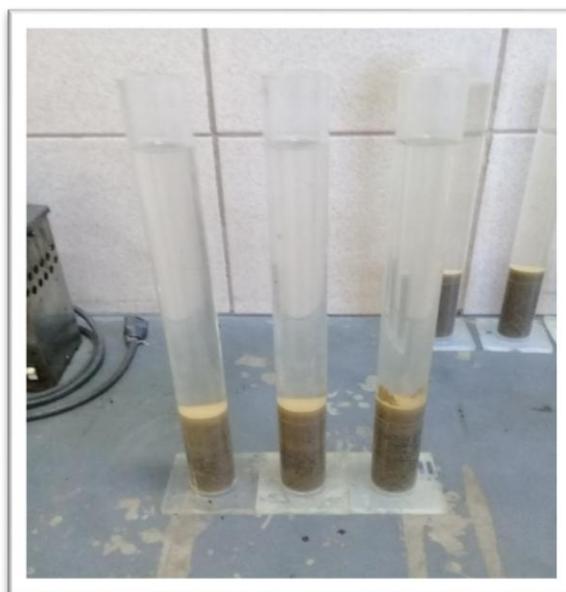
Resumen del método

Se vierte en la probeta de ensayo, la solución química hasta una altura de 4 pulg, luego se vierte en la misma aproximadamente 150 gr de material preparado, y se deja reposar por 10 min, transcurrido ese tiempo se agita la probeta en forma horizontal durante 30 segundos para alcanzar en ese intervalo de tiempo 90 ciclos. A continuación se coloca el irrigador dentro de a probeta y se procede a llenar con la solución química hasta alcanzar un la altura aproximada de 38 cm. Se dejará reposar por un tiempo de 20 min, al término de ese tiempo se procederá a leer el nivel superior de la suspensión de arcilla (lectura de arcilla), y el nivel de arena (lectura de arena) con el dispositivo que consta de un disco, varilla y sobrepeso.

Figura 3.18. Muestra de arena consolidada en la solución química



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.19. Medición del nivel de arena

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo**Tabla 3.11.** Resultados de equivalencia de arena

N° de Muestra	H1	H2	Equivalente de Arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	10.2	10.90	93.58
2	10.8	11.4	94.74
3	11.4	12.20	93.44
		Promedio	93.92

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

Equivalente de Arena (%)	NORMA
93.92	> 50%

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.5 Ensayo de desgaste de los agregados por medio de la máquina de los ángeles (ASTM C131, AASHTO T96)

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

Resumen del método

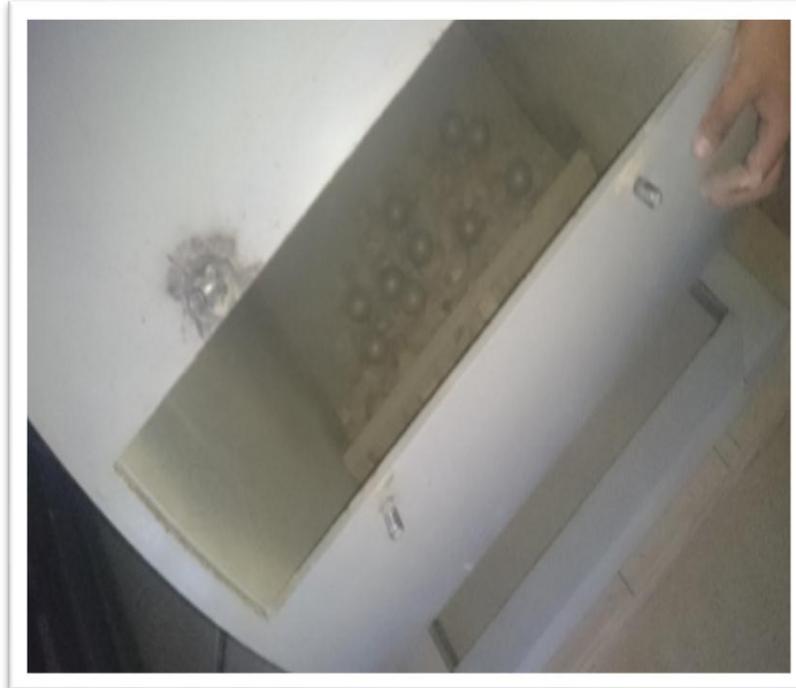
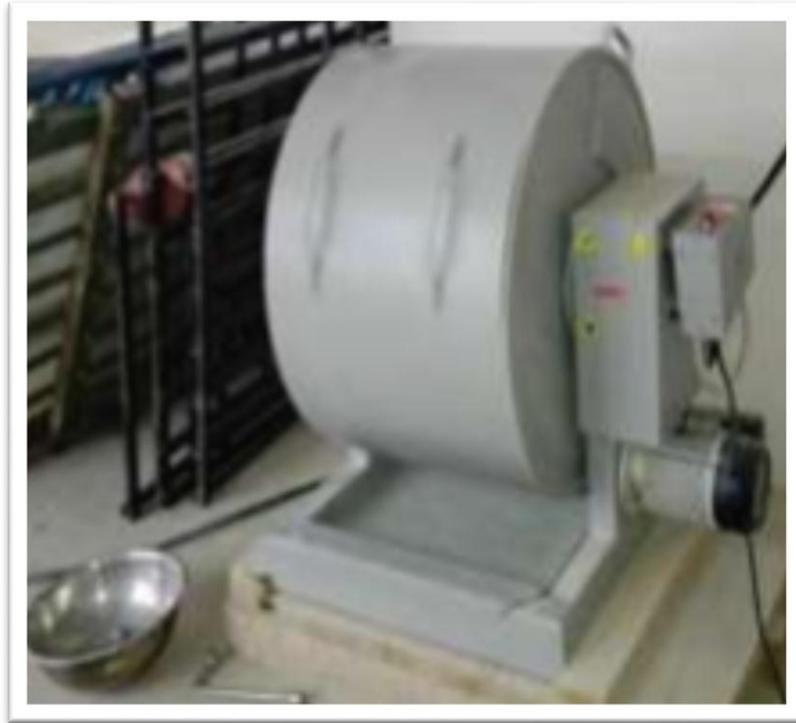
Se tamizara el material de acuerdo a la Tabla 3.27., y se mezclaran las cantidades de acuerdo al método indicado. La muestra preparada se introducirá a la máquina de los ángeles junto a con las esferas de metálicas de acuerdo al tipo de gradación del material a ser analizado, se asegurara la máquina y se procederá a dar 500 revoluciones. Finalizado el tiempo de rotación se saca el material y se tamiza en la malla N°12, el material retenido se lava y se seca al horno a una temperatura constante de 110 ° C, luego se pesa la muestra seca.

Figura 3.20. Preparación de material para el ensayo de desgaste de los ángeles



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.21. Descripción de desgaste dentro de la máquina de los ángeles



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12. Peso del agregado y número de esferas para agregados gruesos

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de material a emplear (gr)			
Pasa	Retenido				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±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 rotación		15	15	15	15

Fuente: Norma ASTM, C131.

Resultados del ensayo**Tabla 3.13.** Resultados obtenidos del ensayo de desgaste de los ángulos (grava)

Gradacion	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificacion ASTM
A	5000	3848.9	23.02	35% MAX

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.14. Resultados obtenidos del ensayo de desgaste de los ángeles (gravilla)

Gradacion	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificacion ASTM
C	5000	4163.1	16.74	35% MAX

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.6 Método para determinar el índice de lajas (AASHTO C-142)

Este ensayo establece el procedimiento para determinar el índice de lajas de un árido, se define el índice de lajas como el porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima) inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de árido considerada.

Resumen del método

Obtener por cuarteo una cantidad mínima de ensaye.

Hacer pasar cada una de las partículas a través de las aberturas de los tamices.

Pesar el total de partículas que pasan por cada tamiz y registre como MP_i

Calcular el índice de lajas de cada fracción *i* (IL_i), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$IL_i = \frac{MP_i}{MT_i} * 100$$

Donde:

IL_i = Índice de lajas de la fracción *i* (%).

MP_i = Masa de material que pasa por la abertura del pie de metro para fracción *i* (gr).

MT_i = Masa total de ensaye.(gr).

Figura 3.22. Determinación del porcentaje de lascas

Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo

Tabla 3.15. Resultados del ensayo de índice de lascas

Tamaño del tamiz abertura	Ancho de ranura de tamiz	Peso retenido en tamiz ranurado	Peso que pasa tamiz ranurado	Peso total	Índice de lascas
plg	plg	gr	gr	gr	%
3/4-1/2	0.373	1098.9	97.6	1196.5	3.1
1/2-3/8	0.271	798.5	62.3	860.8	2.1
3/8-1/4	0.187	887.7	53.4	941.1	1.7
Total		2785.1	213.3	2998.4	6.9

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.7 Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso y fino (ASTM E88, AASHTO T104-99)

Objetivo

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración y resistencia de los áridos (agregado grueso grava y gravilla), mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

Resumen del método

Cada fracción de material retenido en los tamices $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, será sumergido en la solución de sulfato de sodio o magnesio por un período de 16 a 18 horas, en recipientes separados para cada fracción. Transcurrido el tiempo se secará la muestra y se obtendrá el peso, luego se volverá a sumergir en la solución de sulfato, para continuar con los ciclos que se especifiquen.

Finalizado los ciclos se lavan las muestras hasta eliminar los sulfatos, y se secará en horno a una temperatura constante de 110 °C y se determinará el peso.

Figura 3.23. Fracción de material retenido en los diferentes tamices



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.24. Preparación de la solución de sulfato de sodio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.25. Inmersión de la muestra en el sulfato de sodio



Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo

Durabilidad a los sulfatos del agregado grueso

Tabla 3.16. Resultados de la durabilidad a los sulfatos del agregado grueso
Agregado grueso

Tamiz		Peso inicial	Peso final	Pérdidas peso		% retenido de granulometría inicial	Pérdidas corregidas
Pasa	Retiene	gr	gr	gr	%	%	%
1"	3/4"	500.1	498.6	1.5	0.300	7.2	0.49
3/4"	1/2"	502.1	500.8	1.3	0.259	75.1	0.43
1/2"	3/8"	301.2	299.9	1.3	0.432	95	0.492
3/8"	N° 4	100.8	99.7	1.1	1.091	99.9	0.598
Pérdidas totales					2.082		2.01

Fuente: Elaboración propia.

Durabilidad a los sulfatos del agregado fino

Tabla 3.17. Resultados de la durabilidad a los sulfatos del agregado fino
Agregado fino

Tamiz		Peso inicial	Peso final	Pérdidas peso		% retenido de granulometría inicial	Pérdidas corregidas
Pasa	Retiene	gr	gr	gr	%	%	%
3/8"	N° 4	100.2	99.7	0.5	0.50	85.3	0.51
N° 4	N° 8	100.1	99.5	0.6	0.60	98.1	0.69
N° 8	N° 16	100	98.8	1.2	1.20	98.9	1.19
N° 16	N° 30	100.1	98.6	1.5	1.50	98.9	1.48
N° 30	N° 50	100	99.1	0.9	0.90	98.9	0.89
Pérdidas totales					4.70		4.752

Fuente: Elaboración propia.

Más detalles en anexo B

3.2.2 Caracterización del cemento asfáltico

3.2.2.1 Ensayo de penetración de materiales bituminosos (documento referencial ASTM D5, AASHTO T49-97)

Este ensayo determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto a condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo.

Si no se mencionan específicamente otras condiciones, se determina la penetración normal a 25° C.

Resumen del método

Se fundirá la muestra y se enfriará la muestra en un baño hasta una temperatura determinada, la penetración será realizada con una aguja cargada con 100g y la carga se aplica durante 5 segundos. La unidad de penetración es la décima de milímetro.

Figura 3.26. Realización de la penetración de la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo

Tabla 3.18. Resultados del ensayo de penetración

Promedio	Especificaciones	
	Min	Max
92	85	100

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2 Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos (ASTM D113, AASHTO T51-00)

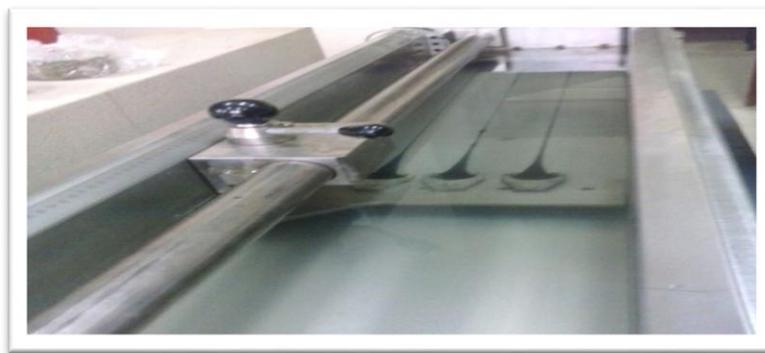
Este método de ensayo determina la ductilidad de un asfalto como la longitud, medida en cm., a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de 25 +/- 0,5 °C y a una velocidad de 5 cm/min +/- 5%.

Resumen del método

Se calentará la muestra y se verterá en el molde hasta llenarlo, luego se dejará enfriar hasta la temperatura especificada de 25°C, una vez enfriado se procederá a enrazar con el fin de quitar el material excedente del molde.

La ductilidad será la medida en centímetros de la distancia a la cual se alargará antes de romper cuando se tira de un extremo del espécimen a una velocidad constante especificada.

Figura 3.27. Ensayo de ductilidad



Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo

Tabla 3.19. Resultados del ensayo de ductilidad

Promedio	Especificaciones	
	Min	Max
109 cm	>100 cm	-

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3 Ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de Cleveland (ASTM D22, AASHTO T48)

Este método de ensayo describe el procedimiento para determinar la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, creando un destello en presencia de una llama abierta.

Resumen del método

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 pasará por encima del vaso. 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 3.28. Realización del ensayo de punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia

Resultados del ensayo

Tabla 3.20. Resultados del ensayo de punto de inflamación

Promedio	Especificaciones	
	Min	Max
288 °C	>230 °C	-

Fuente: Elaboración propia

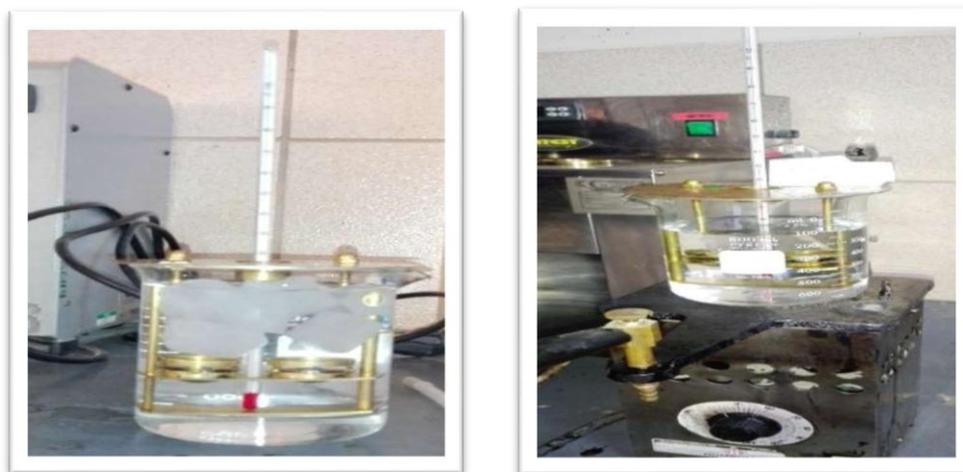
3.2.2.4 Ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D36-89, AASHTO T53-92)

El punto de ablandamiento es otra medida de consistencia y se determina usualmente con el aparato del anillo y bola. Se establece entonces un punto de ablandamiento, determinado por la temperatura a la que alcanza un determinado estado y fluidez.

Resumen del método

Este ensayo consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de dimensiones normalizadas, para luego dejar enfriar a la temperatura ambiente por cuatro horas. Sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso específicos. Una vez lista, se suspende la muestra sobre un baño de agua y se calienta el baño de tal manera que la temperatura del agua suba a velocidad constante. Se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura es el punto de ablandamiento.

Figura 3.29. Realización del ensayo de punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo

Tabla 3.21. Resultados del ensayo de punto de ablandamiento

Promedio	Especificaciones	
	Min	Max
47 °C	43 °C	53 °C

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.5 Ensayo para determinar la gravedad específica (ASTM D70-76, AASHTO T228-93)

Objetivo

Este ensayo describe los procedimientos que deben seguirse para la determinación de la gravedad específica o densidad relativa de los materiales bituminosos (cemento asfáltico 85-100), que es de consistencia sólida, semisólida o líquida.

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.

Calcule la gravedad específica al tercer decimal más cercano como sigue a continuación con la siguiente fórmula que describe cada una de las variables que son necesarias:

$$G = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

Donde:

A = Masa del picnómetro (más el tapón), en gr.

B = Masa del picnómetro lleno con agua, en gr.

C = Masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto, en gr.

D = Masa del picnómetro más el asfalto más agua, en gr.

Figura 3.30. Picnómetros utilizados para determinar el peso específico



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.31. Determinación del peso del picnómetro + C.A. + agua



Fuente: Elaboración propia

Resultados del ensayo

Tabla 3.22. Resultados del ensayo de gravedad específica

Promedio	Especificaciones	
	Min	Max
1.006	1	1.05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.23. Resumen de los ensayos del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	grs.	33.8	34.1	32.9			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	81.25	81.3	78.5			
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	63.55	62.6	61.1			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	81.55	81.6	78.7			
Peso Específico	grs./cm ³	1.007	1.008	1.004	1.006	1	1.05
Punto de Inflamación AASHTO T-48	°C	>280	>290	>295	>288	>232	-
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	115	105	107	109	>100	-
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	100	99	91			
	Lectura N°2	92	93	85			
	Lectura N°3	87	90	87			
	Promedio	mm.	93	94	88	92	85
Viscosidad Cinemática 135 °C	mm ² /s	-	-	-	-	250	-
Ensayo de la mancha					No se realizo	Negativo	
Solvente gasolina standart					No se realizo	Negativo	
Solvente gasolina-xilol, % xilol					No se realizo	Negativo	
Solvente heptano-xilol, % xilol					No se realizo	Negativo	
Ensayo de película delgada en horno, 32 mm, 163°C, 5 hrs.					No se realizo		
* Pérdida en masa	%				No se realizo		1
* Penetración del residuo, penetración original	%				No se realizo	47	
Indice de susceptibilidad térmica					No se realizo	-1	1
Punto de ablandamiento	°C	48.0	47.0	45.0	47	42	53

Fuente: Elaboración propia

Más detalle en anexo C

3.3 Elaboración de la mezcla asfáltica

La mezcla asfáltica que se utilizará será una mezcla asfáltica densa elaborada en frío. La misma que se construirán siguiendo el método Marshall, dicho método está descrito a continuación.

3.3.1 Diseño de la mezcla asfáltica siguiendo el método Marshall

El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas elaboradas en caliente, de pavimentación, también usa muestras normalizadas de pruebas (probetas o briquetas) de 63,5mm (2.5in) de espesor por 101,6mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados.

El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en frío, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Carpeta asfáltica existente tramo Canaletas-Piedra Larga

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 actuarán como la capa inferior para realizar la evaluación de adherencia entre carpetas asfáltica.

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 un aparato llamado rotanex extractor centrífugo, 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.

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.

Limpieza de las muestras obtenidas

Finamente después de extraer la cantidad necesaria de muestras que actuarán 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.

Figura 3. 32. Muestras extraídas de carpeta asfáltica existente tramo Canaletas-Piedra Larga.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 33. Extracción de testigos para el análisis y extracción de muestras necesarias para evaluar la adherencia entre carpetas asfálticas existentes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.34. Testigos que actuarán como la capa inferior para realizar la evaluación de adherencia entre carpetas asfáltica



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.35. Ensayo de centrífugo para determinar el porcentaje de cemento asfáltico presente en la muestra o carpeta asfáltica existente



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.36. Agregado pétreo para la realización del análisis granulométrico al finalizar la prueba de extracción el cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 37. Tamices para la realización del análisis del agregado pétreo para determinar la distribución de las partículas y control de calidad



Fuente: Elaboración propia.

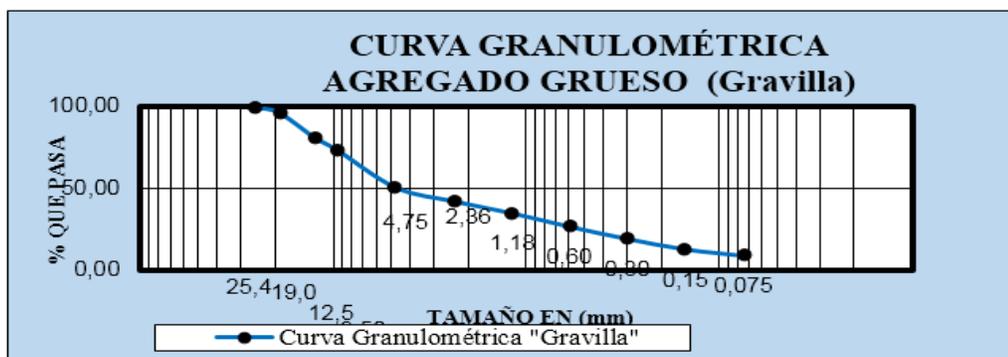
Resultados

Tabla 3.24. Resultado de contenido de cemento asfáltico

Peso Total (gr.)		1033.4			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25.4	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	35.50	35.50	3.44	96.56
1/2"	12.5	155.90	191.40	18.52	81.48
3/8"	9.50	80.10	271.50	26.27	73.73
Nº4	4.75	236.10	507.60	49.12	50.88
Nº8	2.36	87.80	595.40	57.62	42.38
Nº16	1.18	75.20	670.60	64.89	35.11
Nº30	0.60	84.20	754.80	73.04	26.96
Nº50	0.30	77.70	832.50	80.56	19.44
Nº100	0.15	66.20	898.70	86.97	13.03
Nº200	0.075	40.10	938.80	90.85	9.15
BASE	-	46.60	985.40	95.36	4.64
	SUMA	985.4			
	PÉRDIDAS	48.0			
	MF =	5.29			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. 38. Granulometría de testigo extraído



Fuente: Elaboración propia.

Humedad	
Dato	gr
Peso Muestra Húmeda	1033.40
Peso Muestra seca	1022.90
Peso Agua	10.50
% de Humedad	1.03

$$100\% = 1033.40$$

$$\% = 95.35513838$$

CONTENIDO DE ASFALTO
4.64486162 %

Más detalle en el anexo D

3.3.2 Procedimiento para la realización del diseño Marshall de la mezcla asfáltica

El siguiente procedimiento será aplicado solamente a mezclas asfálticas en frío 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.).

3.3.2.1 Descripción de los instrumentos utilizados

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 debe ser intercambiables.

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").

Extractor de muestras de asfaltos.- Para extraer el espécimen del molde, en forma de disco con diámetro de 100 mm y 12.7 mm (1/2") de espesor.

Soporte para molde o porta molde.- Dispositivo con resorte de tensión diseñado para sostener rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal.

Mordaza.- Consiste de dos semicilindros, con un radio de curvatura interior de 50.8 mm (2") de acero enchapado que sirve para facilitar su fácil limpieza. El segmento inferior termina en una base plana con dos varillas perpendiculares que sirven de guía.

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 de acero se medirán con un deformímetro graduado en 0.001 mm.

Prensa.- Para llevar a la falla a la muestra, será mecánica con una velocidad uniforme de 50.8 mm/min.

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 (2039 kgf). Las deformaciones del anillo se medirán con un deformímetro graduado en 0,001 mm.

Discos de Papel Filtrante.- De 4 pulg., colocada en la base interior del molde para evitar que la mezcla se adhiera a la base del molde.

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.

Baño.- El baño de agua con 150 mm (6") de profundidad mínima y controlado termostáticamente para mantener la temperatura a $60^{\circ} \pm 1^{\circ} \text{C}$ ($140^{\circ} \pm 1,8^{\circ} \text{F}$), deberá tener un falso fondo el cual debe estar debidamente perforado o estar equipado con un estante para mantener las probetas por lo menos a 50.8 mm (2") sobre el fondo del tanque.

Recipientes.- Para calentar los agregados y para mezclar el asfalto y agregado.

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), 1.18 mm (N° 16), 0.60 mm (N° 30), 0.3 mm (N° 50), 0.15 mm (N° 100) y 0.075 mm (N° 200).

Termómetros blindados.- De 10°C a 100°C (50°F a 212°F) para determinar las temperaturas de la emulsión, agregados y mezcla, con sensibilidad de 3°C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará termómetro con escala de 10°C a 70°C y sensibilidad de 0.2°C (50°F a 158°F + 0.4°F).

Balanza.- Para pesar agregado y asfalto de 5 kg. de capacidad y con una sensibilidad de 1 gr. Para pesar probetas compactadas de 2 kg. de capacidad y sensibilidad de la misma.

3.3.2.2 Preparación de la mezcla asfáltica (construcción de las briquetas)

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto según el contenido mínimo del cemento asfáltico a utilizar.

El margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla.

Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

El asfalto y el agregado se calientan completamente hasta que todas las partículas del agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.

Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.

Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50 o 75 golpes) depende de la cantidad de tránsito para la cual está siendo diseñada.

Ambas caras de cada biqueta reciben el mismo número de golpes. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas a temperatura ambiente.

3.3.3 Gradación de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas densas siguiendo el método Marshall

Para la elaboración de una mezcla densa o cerrada, la granulometría de las distintas fracciones de árido constituyentes de la mezcla (incluyendo el filler de aporte) deben estar comprendidas en función de dos parámetros.

El tamaño máximo nominal del agregado y el de las franjas granulométricas de control (superior e inferior). Estas franjas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica.

Tabla 3.25. Graduación de los agregados y franjas granulométricas de control para mezclas asfálticas densas

Tamiz	Mezcla densa								
	Tamaño máximo nominal de agregados								
	2"	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16
Gradación de agregados (grava; fino y filler) si se requiere									Porcentaje en peso
2 ½" (63mm)	100	-	-	-	-	-	-	-	-
2" (50mm)	90-100	100	-	-	-	-	-	-	-
1 ½" (37,5mm)	-	90-100	100	-	-	-	-	-	-
1" (25,0mm)	60-80	-	90-100	100	-	-	-	-	-
¾" (19,0mm)	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-	-
½" (12,5mm)	35-65	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-
3/8" (9,5mm)	-	-	-	56-80	-	90-100	100	-	-
Nº4 (4,75mm)	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	-	100
Nº8 (2,36mm)	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	-	95-100
Nº16 (1,18mm)	-	-	-	-	-	-	40-80	-	85-100
Nº30 (600µm)	-	-	-	-	-	-	25-65	-	70-95
Nº50 (300µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	-	45-75
Nº100 (150µm)	-	-	-	-	-	-	3-20	-	20-40
Nº200 (75 µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	-	9-20

Fuente: Secretaria de comunicaciones y transportes (SCT), Instituto Mexicano del transporte, 2004

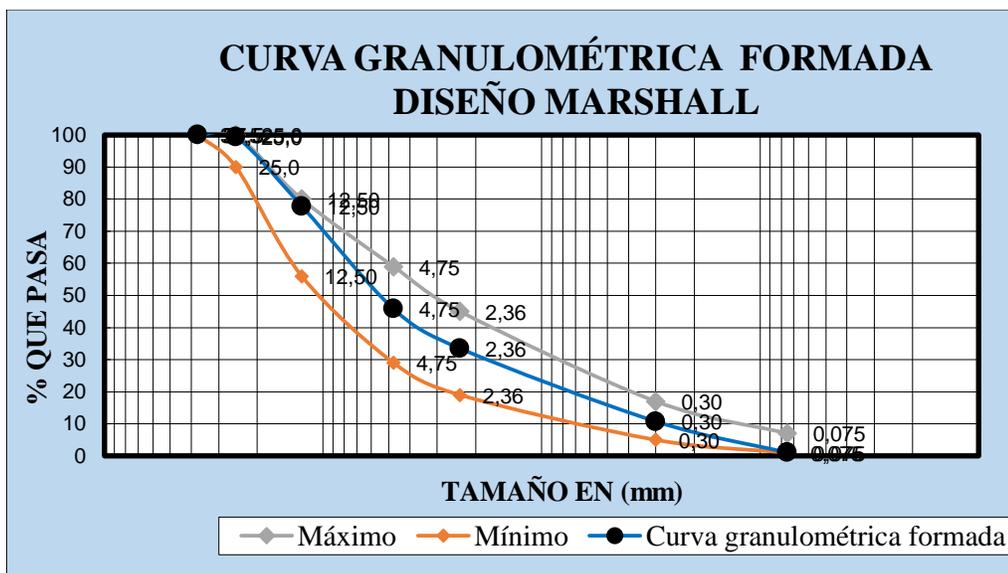
En base a los parámetros de granulometría exigidos en la tabla 3.39., con relación al tamaño máximo del agregado utilizado, se realiza la combinación de agregados (grava, gravilla, arena) para cumplir con los requisitos planteadas, ya que casi nunca es posible obtener un agregado que cumpla con estos requisitos granulométricos.

Tabla 3.26. Curva granulométrica formada para el diseño de mezclas asfálticas

Tamices	tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Arena	Grava	Gravilla	Arena	TOTAL	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total	Especificaciones	
		Peso Ret. a 5000 gr	Peso Ret. a 5000 gr	Peso Ret. a 5000 gr	al 0.25	al 0.3	al 0.45	Peso Ret. 1				Mínimo	Máximo
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.4	120.00	0.00	0.00	30.00	0.00	0.00	30.00	30.00	0.60	99.40	90	100
3/4"	19.0	2625.40	0.00	0.00	656.35	0.00	0.00	656.35	686.35	13.73	86.27	-	-
1/2"	12.5	1682.70	6.30	0.00	420.68	1.89	0.00	422.57	1108.92	22.18	77.82	56	80
3/8"	9.50	376.20	380.00	0.00	94.05	114.00	0.00	208.05	1316.97	26.34	73.66	-	-
Nº4	4.75	187.30	3971.20	344.25	46.83	1191.36	154.91	1393.10	2710.06	54.21	45.79	29	59
Nº8	2.36	0.10	571.10	987.75	0.03	171.33	444.49	615.84	3325.91	66.52	33.48	19	45
Nº16	1.18	0.20	4.20	804.25	0.05	1.26	361.91	363.22	3689.13	73.79	26.21	-	-
Nº30	0.60	0.10	2.40	701.5	0.03	0.72	315.68	316.42	4005.55	80.12	19.88	-	-
Nº50	0.30	0.12	1.20	1014.25	0.03	0.36	456.41	456.80	4462.35	89.25	10.75	5	17
Nº100	0.15	0.10	0.50	857.75	0.03	0.15	385.99	386.16	4848.51	96.98	3.02	-	-
Nº200	0.075	0.20	0.12	223	0.05	0.04	100.35	100.44	4948.95	98.99	1.01	1	7
BASE	-	7.50	62.80	66.5	1.88	18.84	29.93	50.64	4999.59	100.00	0.00	-	-
SUMA		4999.9	4999.8	4999.3	1249.98	1499.946	2249.66	4999.6					

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.39. Curva granulométrica formada y fajas de control



3.4 Procedimiento del ensayo realizado en laboratorio

3.4.1 Dosificación de la mezcla en función a la cantidad de cemento asfáltico

Para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico se realizara el análisis de 6 porcentajes de asfalto con incrementos de 0,5%, para la mezcla con los agregados. Para ello se elaboraran 3 briquetas con 75 golpes por lado con el martillo de compactación por cada porcentaje de asfalto.

La experiencia ha demostrado que las mezclas de agregados y cemento asfáltico de 540 gramos de peso, permiten obtener muestras compactadas de $2,5 \pm 0,01$ pulgadas de altura. Por lo tanto para elaborar cada probeta se mezclarán las cantidades necesarias de cada fracción de agregado y asfalto para alcanzar dicho peso.

3.4.2 Contenido mínimo de cemento asfáltico.

El cemento asfáltico interviene en las mezclas asfálticas en proporciones diferentes según el tipo de formulación, generalmente este valor oscila entre el 3% y el 10 % sobre la masa de los agregados pétreos. Generalmente los asfaltos de mayor empleo son los que se conocen por su antigua clasificación de acuerdo al ensayo de penetración, como aquéllos de penetración intermedia (50/60 y 85/100) y actualmente también tienen un uso generalizado los asfaltos modificados. Según ensayos realizados anteriormente para un asfalto 85-100 el contenido optimo oscila entre 5 y 7%, pariremos del 5% con intervalos de 0.5% mayores a 5 y menores a 5.

Tabla 3.27. Cantidad de agregados y cemento asfáltico para la preparación de la mezcla

DESCRIPCIÓN	Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla					
	4.00%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
Porcentaje de Agregado (%)	96.0%	95.5%	95.0%	94.5%	94.0%	93.5%
Peso del Cemento Asfáltico (gr)	21.60	24.30	27.00	29.70	32.40	35.10
Peso de Grava (gr)	129.60	128.93	128.25	127.58	126.90	126.23
Peso de Gravilla (gr)	155.52	154.71	153.90	153.09	152.28	151.47
Peso de Arena (gr)	233.28	232.07	230.85	229.64	228.42	227.21
Peso total de la briqueta (gr)	540.00	540.00	540.00	540.00	540.00	540.00

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinada las cantidades necesarias de agregado para cada porcentaje de cemento asfáltico se procede a realizar la mezcla como se indica a continuación:

En una bandeja deberá colocarse la cantidad indicada de cada fracción de agregado a una temperatura especificada (de 110 a 120 °C), seguidamente se añade la cantidad calculada de cemento asfáltico previamente calentada a una temperatura especificada, hasta completar el peso total de una briqueta para un porcentaje determinado. Seguidamente se realiza el mezclado hasta obtener una mezcla homogénea, a una temperatura no inferior de 140°C.

Figura 3.40. Colocación de cantidades de agregados y cemento asfáltico

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.41. Mezcla preparada

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.1 Proceso de compactación de las muestras

Para la compactación, primeramente se calienta los moldes colocándolos en un horno de 100 a 105 °C por unos 30 minutos. Una vez retiradas los moldes del horno se vierte la mezcla en los moldes Marshall, en tres capas, dando ciertas varilladas para el acomodo de la mezcla y se procede a la compactación dando 75 golpes con el martillo, en la cara superior, luego se le da la vuelta y se aplica otros 75 golpes, dando como resultado un total de 150 golpes.

Figura 3.42. Martillo para compactación

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.43. Compactación de la muestra, dando 75 golpes por cara



Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizada la compactación, se deja reposar el espécimen por un tiempo aproximado de 1 a 2 horas, para luego ser extraídas del molde.

Figura 3.44. Extracción de las briquetas de los moldes



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Caracterización de las mezclas compactas para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.

La máquina de ensayo Marshall, está diseñada para aplicar cargas a las muestras por medio de pesas de ensayo semicirculares, está equipada con un calibrador provisto de un anillo

para determinar la carga de ensayo, de un marco de carga para ensayo de estabilidad y un medidor de flujo, para establecer la deformación bajo la carga máxima de ensayo.

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.

Figura 3.45. Determinación de las dimensiones de las briquetas

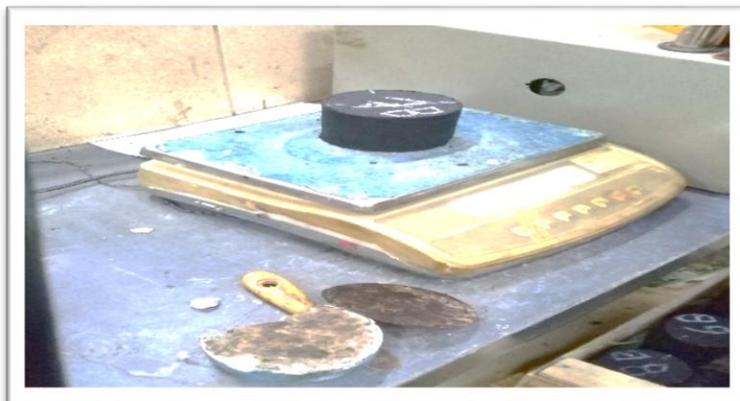


Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.1 Determinación de la densidad de los especímenes

Para la determinación de la densidad, se determina la masa en el aire del espécimen compactado (W_s), enseguida se deja sumergido en agua por un tiempo mínimo de 3 minutos una temperatura de 25°C , y se determina la masa en el agua (W_h), se saca del agua, se seca con la ayuda de una toalla, hasta alcanzar la condición de saturado y superficialmente seco (W_{ss}), y se determina la masa para esta condición.

Figura 3.46. Determinación del peso de la briqueta en estado seco



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.47. Determinación del peso sumergido



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.48. Determinación del peso saturado superficialmente seca



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.2 Determinación de la estabilidad y fluencia

Antes del ensayo para determinar la estabilidad y fluencia, se sumerge las briquetas en baño de agua a $60\text{ °C} \pm 0.2\text{ °C}$ durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos. Transcurrido el tiempo se retiran del baño de agua, se secan y se colocan a entre las mordazas del equipo para la aplicación de la carga y determinar la estabilidad y la fluencia de cada briqueta.

Figura 3.49. Briquetas sumergidas en baño maría a 60 °C



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.50. Determinación de la estabilidad y fluencia de las briquetas



Fuente: Elaboración propia.

Resultados del ensayo Marshall

Tabla 3.28. Pesos específicos de los materiales

Pesos específicos			
Descripción	Material	P.E. (gr/cm³)	%
Agregados	Grava	2.67	25
	Gravilla	2.74	30
	Arena	2.77	45
	Filler	0	0
Cemento asfáltico	Numero de golpes 75		
	P.E. cemento asfaltico (gr/cm ³)		1,003
Peso específico total			
		P.E. (gr/cm³)	% de agregado
Mat retenido tamiz N° 4		2.705	54.21
Mat. pasa tamiz N° 4		2.79	45.79
Peso específico total		2.75	100

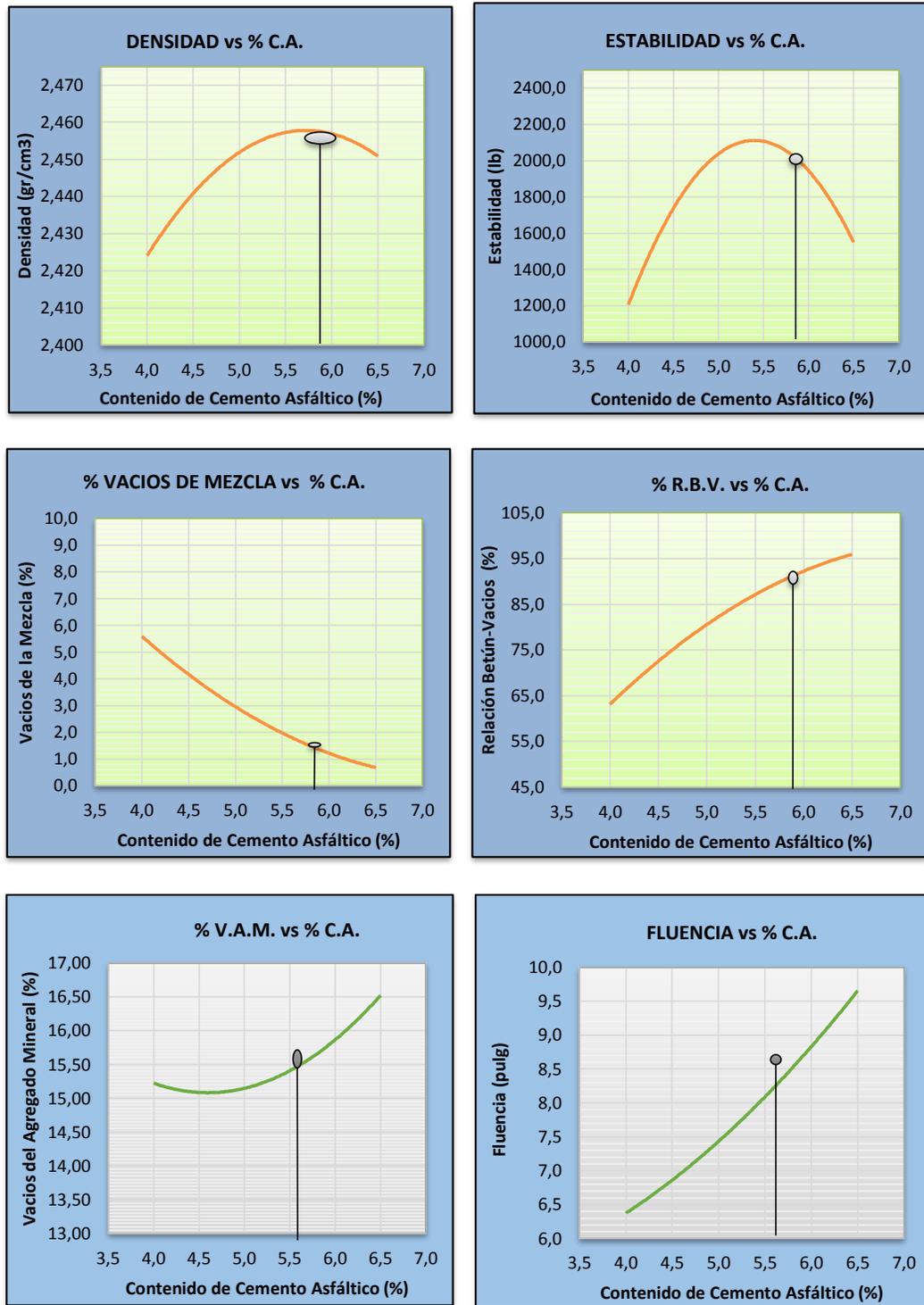
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.29. Resultados obtenidos del ensayo por el método Marshall

METODO MARSHALL																							
N° de probeta	Altura de probeta	% de Asfalto		Peso Briqueta			Volum.	Densidad Briqueta			% de Vacios			Estabilidad Marshall					Fluencia				
		Base Mezcla	Base Agregados	Seco	Sat. Sup. Seca	Sumergida en agua	Probeta	Densidad real	Densidad promedio	Densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	V.A.M.(vacios agregado mineral)	R.B.V. (relacion betumen vacios)	Lectura del dial	Carga	Factor de correccion de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia real	Fluencia promedio		
		%	%	grs.	grs.	grs.	cc	grs/cm3	grs/cm3	grs/cm3	%	%	%	mm	libras	-	libras	libras	-	-	0,01 pulg		
1	7.19	4.00	4.17	1305.3	1308.1	762	546.1	2.39	2.43	2.57	5.53	15.17	63.56	568	1511.3	0.825	1246.81	1245	150	0.059	6.430		
2	7.11			1281.1	1283.6	765	518.6	2.47						582	1549	0.838	1297.43		170	0.067			
3	7.15			1290.7	1294.2	760	534.2	2.42						540	1435.9	0.830	1191.79		170	0.067			
4	7.08	4.50	4.71	1297.2	1300.5	772	528.5	2.45	2.44	2.55	4.29	15.19	71.78	785	2095.6	0.843	1766.82	1667	165	0.0650	6.76		
5	7.12			1301.5	1305.4	785	520.4	2.50						703	1874.8	0.836	1566.78		170	0.0669			
6	7.18			1299.8	1333.3	782	551.3	2.36						756	2017.5	0.826	1667.09		180	0.0709			
7	7.02	5.00	5.26	1302.4	1304.2	780	524.2	2.48	2.45	2.53	2.94	15.12	80.59	876	2340.7	0.854	1999.87	2022	195	0.0768	7.41		
8	6.89			1315.7	1319.7	773	546.7	2.41						904	2416.1	0.879	2123.24		180	0.0709			
9	6.93			1317.0	1319.0	785	534.0	2.47						835	2230.3	0.871	1943.23		190	0.0748			
10	7.00	5.50	5.82	1310.7	1315.1	783	532.1	2.46	2.46	2.51	1.89	15.33	87.68	965	2580.3	0.858	2214.18	2156	210	0.0827	8.20		
11	7.04			1300.5	1305.0	777	528.0	2.46						937	2504.9	0.851	2130.95		205	0.0807			
12	7.01			1298.2	1304.5	775	529.5	2.45						928	2480.7	0.856	2124.22		210	0.0827			
13	6.99	6.00	6.38	1333.7	1334.4	782	552.4	2.41	2.46	2.49	1.25	15.90	92.15	856	2286.8	0.860	1966.66	1964	230	0.0906	8.79		
14	6.83			1296.0	1304.3	774	530.3	2.44						889	2375.7	0.890	2114.35		225	0.0886			
15	7.12			1279.0	1282.6	773	509.6	2.51						812	2168.3	0.836	1812.08		215	0.0846			
16	7.17	6.50	6.95	1318.5	1325.8	789	536.8	2.46	2.45	2.47	0.69	16.53	95.82	735	1961	0.828	1622.72	1524	250	0.0984	9.65		
17	7.05			1324.1	1331.8	792	539.8	2.45						688	1834.4	0.849	1557.06		235	0.0925			
18	7.09			1316.0	1323.7	785	538.7	2.44						621	1654	0.841	1391.52		250	0.0984			
ESPECIFICACIONES				minimo								3	13	75						750			8
				maximo								5	-	82						-			16
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO				Ensayo		Valor de Diseño		% de C.A.															
				Estabilidad Marshall (Lb)		2107.335		5.30															
				Densidad máxima (gr/cm3)		2.458		5.75															
				Vacios de la mezcla (%)		4.480		6.40															
				% Porcentaje óptimo de C.A.		Promedio =		5.82															

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.51. Gráficas del método Marshall para la determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.3 Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico

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 del asfalto. Entre más finos contenga la graduación 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 (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

Tabla 3.30. Resumen de resultados para la obtención del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO	Estabilidad Marshall (Lb)	2107.335	5.30
	Densidad máxima (gr/cm ³)	2.458	5.75
	Vacios de la mezcla (%)	4.480	6.40
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio =	5.82

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos de densidad, estabilidad, fluencia, % de vacíos, relación de betún-vacíos y vacíos de agregado mineral, se realizó los diagramas de cada uno de ellos con relación al porcentaje de cemento asfáltico, de los cuales se obtienen valores que se utilizarán para obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

El porcentaje óptimo de cemento asfáltico con el que se trabajará para esta investigación será igual al 5.82 %.

Más detalle en anexo E

3.5 Descripción y características de los asfaltos líquidos o cortados a utilizar como riego de liga convencional

En esta investigación se estudiará un tipo de emulsión utilizado como riego de adherencia entre una capa existente y una nueva capa de rodadura.

3.5.1 Metodología de aplicación del riego de liga

Para la aplicación del riego de liga en la superficie de las probetas tanto para el ensayo de corte se realizará en forma manual utilizando una brocha para la extensión del riego de liga sobre la superficie de las probetas, hasta alcanzar la cantidad de ligante calculado cubriendo así toda el área de contacto con la nueva capa asfáltica.

Figura 3.52. Materiales para la preparación del riego de liga



Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.1 Determinación de la cantidad de ligante a aplicar

El cálculo de la cantidad de ligante para cada una de las probetas a adherir se realizará de la siguiente manera:

Área superficial de las probetas construídas

El diámetro de cada briqueta construída será de 10 cm.

$$A = \frac{\pi * 0.10^2}{4} = 0,00785 m^2$$

Cantidad de riego de liga en gramos para cada muestra según la tasa de aplicación

Tasa de aplicación: 0.5 litros por cada metro cuadrado.

Tabla 3.31. Cantidad de riego de liga de curado rápido para cada probeta.

Tasa de aplicación	Área briqueta	Total de riego a aplicar
lt/m ²	m ²	gr
0,5	0.00785	3.925

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4. Construcción de probetas

La construcción de las probetas de la capa se realizará con muestras de núcleos extraídos del tramo Canaletas-Piedra Larga, y para la capa de pavimento flexible se realizará usando la metodología y parámetros Marshall.

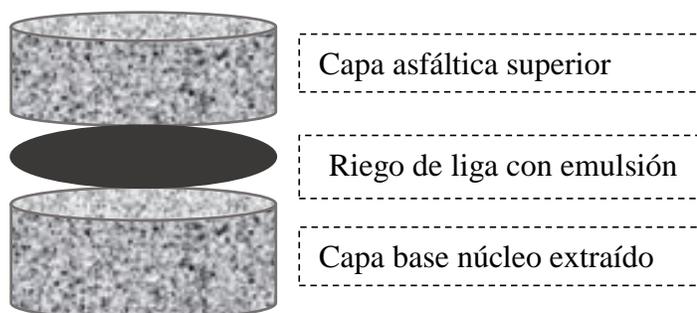
Para ello se utilizará el porcentaje, el cual fue calculado fabricando probetas con diferentes porcentajes de cemento asfáltico para luego someterlas a la prensa Marshall y obtener la resistencia a deformaciones y los vacíos de la mezcla, para así determinar una dosificación óptima para una mezcla asfáltica densa.

Para esta investigación el porcentaje óptimo de cemento asfáltico calculado fue de 5.82%.

4.1. Elaboración de las probetas para el ensayo de corte

Para este ensayo de corte con la cual se pretende obtener dotaciones más adecuadas de emulsión asfáltica que garanticen una mejora en la adherencia entre capas, se elaboraron probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro. Estas probetas estarán conformadas por dos capas, una de una muestra de extracción de núcleo como capa base y otra capa de mezcla asfáltica densa unidas por el riego de liga con emulsión. Cada probeta tendrá una altura aproximada de 3 cm.

Figura 4.1. Estructura de la probeta cilíndrica



Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Aplicación del riego de liga

La aplicación del riego de liga será manualmente utilizando una brocha delgada para evitar pérdidas. Se utilizará una dotación de riego de liga de 0.5 lt/m².

Las cantidades a aplicar para cada dosis de riego serán de acuerdo a lo presentado en la tabla 3.31.

Figura 4.2. Aplicación del riego de liga modificado con la cantidad calculada



Fuente: Elaboración propia.

Una vez aplicado el riego de liga se dejará reposar durante un tiempo de 12 a 24 horas para la evaporación de la emulsión y la penetración en la muestra de núcleo extraído. Transcurrido el tiempo se procederá a la realización de la conformación de la capa asfáltica (capa superior), el cual estará adherida por el riego de liga aplicado a la capa.

4.1.2. Elaboración de la capa de pavimento flexible

La construcción de la capa asfáltica superior se realizará con la cantidad óptima de cemento asfáltico obtenido según el diseño Marshall obtenido anteriormente. Con este contenido óptimo de cemento asfáltico se procederá a realizar el cálculo de las cantidades de los agregados grueso y fino.

Se calculará la cantidad de agregados para un peso total de 540 gr que se necesita para el volumen de una probeta para el Marshall para a capa de pavimento flexible de grava, gravilla, arena y cemento asfáltico.

El mezclado de los agregados con el cemento asfáltico se lo realizará a una temperatura de 110 grados centígrados con ayuda de una hornalla eléctrica o una cocina a gas para el incremento de la temperatura.

Tabla 4.1. Cantidad de material para cada probeta en función al porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

Descripción	Porcentaje de emulsión residual en la mezcla					
	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.14%	6.5%
Porcentaje de Emulsión (%)	6.5%	7.3%	8.1%	8.9%	9.9%	10.5%
Porcentaje de Agregado (%)	93.5%	92.7%	91.9%	91.1%	90.1%	89.5%
Peso de cemento asfaltico (gr)	34.84	39.19	43.55	47.90	53.48	56.61
Peso de Grava (gr)	126.29	125.20	124.11	123.02	121.63	120.85
Peso de Gravilla (gr)	151.55	150.24	148.94	147.63	145.96	145.02
Peso de Arena (gr)	227.32	225.36	223.40	221.44	218.94	217.52
Peso total de la briqueeta (gr)	540.00	540.00	540.00	540.00	540.00	540.00

Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento para realizar la mezcla asfáltica

Con las cantidades determinadas de los agregados y el porcentaje óptimo de asfalto se procede a la realización de las mezclas asfálticas para las probetas.

Primeramente se realiza el calentamiento previo de los agregados y del cemento asfáltico para luego mezclarlos con las cantidades calculadas. El mezclado de los materiales se lo realizará manualmente hasta lograr una mezcla homogénea. Durante el proceso de mezclado se debe verificar la temperatura la cual debe oscilar entre 140°C a 150°C, en la cual se tendrá la mezcla lista para el proceso de compactación.

Este procedimiento se seguirá para la fabricación de la capa asfáltica.

Figura 4.3. Preparado de la muestra previo al mezclado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4. Proceso de mezclado



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.1. Compactación de las muestras

Antes de realizar la compactación de las muestras, los moldes utilizados para este proceso deben ser precalentados a una temperatura de 150 °C, en nuestro caso al tratarse de moldes que contienen capa base no se los podrá precalentar.

Se colocará papel un poquito de aceite sucio a las probetas para poder desmoldarlas luego, en donde se verterá la mezcla a la temperatura especificada. El compactado se realizará a una temperatura de 140 °C a 150 °C por una sola cara con 150 golpes ya que no se podrá voltear la cara para realizar los 75 golpes por lado, conformando así la capa superior de la probeta.

Terminada la aplicación de los 150 golpes, se dejará enfriar un aproximado de 1 hora para su extracción del molde. Luego se dejará reposar la probeta durante al menos 20 días después de construída para su posterior análisis de acuerdo a la investigación que se está realizando en laboratorio.

Figura 4.5. Compactado de la muestra con 150 golpes



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Mejoramiento de puesta en obra del riego de liga

4.2.1. Dotación de riego de liga

La determinación de la dotación del riego de liga que se utilizara para una mejor adherencia según estudios anteriores para la colocación de sobre capas será de 0.5 litros por metro cuadrado según el valor indicado de acuerdo a estudios que se hicieron en obra, ajustada en el tramo de prueba, dependiendo de la condición de la superficie a regar.

El mismo surge de la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos en la Tabla N°4.2. Para el ensayo de adherencia entre capas, sobre los testigos extraídos del tramo de prueba.

Tabla 4.2. Ensayo de adherencia entre capas

Parámetro	Método	Exigencia
Ensayo de adherencia entre capas de rodadura (MPa)	UNE-EN 12697-48, ensayo SBT	>0.70
Ensayo de adherencia entre capa base y capas de rodadura (MPa)	UNE-EN 12697-48, ensayo SBT	>0.30

Fuente: Normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad, Argentina VN-E

4.2.2. Presentación de dotación en obra

La distribución regular del riego de liga no se debe iniciar hasta que el inspector de calidad haya aprobado la correspondiente dotación de obra presentada por el contratista. Para la aprobación de la dotación de obra, es necesario verificar y ajustar la misma en el Tramo de Prueba correspondiente.

La dotación de obra debe emplearse durante todo el proceso constructivo de la obra, siempre que se mantengan las características de los materiales que la componen. Toda vez que cambie alguno de los materiales o se excedan sus tolerancias de calidad, su composición debe ser reformulada y reprobada nuevamente siguiendo los lineamientos de especificaciones técnicas generales.

Los informes de presentación de la dotación de obra deben incluir como mínimo los requerimientos establecidos en la Tabla N°4.3.

Tabla 4.3. Requisitos que debe cumplir la dotación de obra.

Parámetro	Información que debe ser consignada
Emulsión asfáltica	Identificación, características, hoja técnica del producto, hoja de seguridad y dotación (en g/m ²) de residuo asfáltico sobre la capa regada.
Temperaturas	Se debe iniciar el rango de temperatura de almacenamiento y de aplicación de la emulsión, la cual es suministrada por el proveedor de la emulsión asfáltica.
Ajustes en el tramo de prueba	La dotación informada debe incluir los posibles ajustes realizados durante el tramo de prueba.

Fuente: Normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad, Argentina VN-E

4.2.3. Equipos de obra

No se puede utilizar en la ejecución regular de un riego ningún equipo que no haya sido previamente empleado en el Tramo de Prueba y aprobado por el Inspector de Calidad de la obra en construcción.

4.2.3.1. Tanques de almacenamiento de la emulsión asfáltica

Las emulsiones asfálticas se deben almacenar en tanques que se ajusten a los requisitos que se establecen en la Tabla N°4.4.

Tabla 4.4. Requisitos que deben cumplir los elementos de transporte y almacenamiento de emulsiones asfálticas

Características	Requisitos
Tanques de almacenamiento	<p>Los tanques de almacenamiento de la emulsión asfáltica deben ser, idealmente, cilíndricos y verticales y estar térmicamente aislados del medio ambiente.</p> <p>El tanque de almacenamiento debe tener un sistema que permita mantener la temperatura de almacenamiento de la emulsión asfáltica dentro del entorno indicado por el proveedor de la emulsión asfáltica.</p> <p>Para evitar la rotura de la capa de la emulsión en contacto con el aire y la formación de espuma, el caño de alimentación debe llegar hasta el fondo del tanque.</p> <p>El sistema de bombeo empleado debe ser tal que no ingresen aire a la emulsión asfáltica.</p> <p>Todas las tuberías directas y bombas, preferiblemente rotativas, utilizadas para el traspaso de la emulsión asfáltica desde la cisterna de transporte al tanque de almacenamiento, y de éste al equipo de aplicación en obra o mezclado, deben estar dotados de un sistema que permita la perfecta limpieza y barrido de los conductos después de cada jornada de trabajo.</p>

Fuente: Normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad, Argentina VN-E

4.2.3.2. Equipos para la distribución

Las emulsiones asfálticas para riego de curado se deben distribuir con equipos que se ajusten a los requisitos que se establecen en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5. Requisitos que deben cumplir los elementos distribuidores de emulsiones asfálticas

Características	Requisitos
Distribución De la emulsión asfáltica	El equipo de distribución del riego de liga debe tener un sistema que regule la dotación en función de la velocidad de avance, de manera de obtener un riego uniforme sobre la superficie, cumpliendo la dotación definida. El equipo para la distribución de la emulsión asfáltica debe ir montado sobre neumáticos, el mismo debe ser capaz de mantener la emulsión dentro del rango de temperatura prescrita. La bomba debe generar una presión suficiente en la barra de distribución, de manera que los picos rieguen de forma pareja.

Fuente: Normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad, Argentina VN-E.

4.2.4. Ejecución de las obras

4.2.4.1. Preparación de la superficie de apoyo

Previa aplicación del riego de curado, la superficie a regar se debe encontrar aprobada por el inspector de calidad, de acuerdo al cumplimiento de las exigencias establecidas en el pliego de especificaciones técnicas generales de colocación de riego de liga.

La superficie de apoyo debe ser regular y no debe exhibir deterioros. Asimismo, debe estar libre de manchas o huellas de suelos cohesivos, los que deben eliminarse totalmente de la superficie. Inmediatamente antes de proceder a la aplicación de la emulsión, la superficie a regar se debe limpiar de materiales sueltos o perjudiciales para el buen desempeño del riego de liga.

Para ello se deben utilizar barredoras mecánicas o máquinas de aire a presión, u otro método aprobado por el inspector de calidad para la limpieza de toda el área de aplicación.

Asimismo, si la superficie a regar fuera un pavimento asfáltico en servicio, se deben eliminar, mediante fresado, los excesos de ligante asfáltico que hubiera y se deben reparar los deterioros existentes que pudieran impedir una correcta adherencia del riego de liga.

Una vez la superficie se encuentra limpia y con la condición de humedad correcta, se debe solicitar la aprobación de la misma por parte del director de obra, previa aplicación del riego de imprimación.

Las banquetas y/o trochas aledañas se deben mantener durante los trabajos en condiciones tales que eviten la contaminación de la superficie, luego de que esta ha sido cubierta por el riego.

4.2.4.2. Aplicación del riego de liga

Cuando la superficie a regar se encuentre en las condiciones fijadas la preparación de la superficie de apoyo, debe aplicar el riego de liga, con la dotación y la temperatura definida en la dotación de obra.

La distribución del riego de adherencia se debe efectuar de manera uniforme, evitando duplicarla en las juntas transversales de trabajo. Donde fuera preciso regar por franjas, se debe procurar una ligera superposición del riego en la unión de las mismas.

Se debe garantizar la aplicación del riego de curado de manera uniforme, sin la formación de estrías ni acumulaciones en superficie, garantizando la dotación especificada.

La cobertura y la uniformidad de aplicación del riego de adherencia constituyen el factor preponderante para garantizar un exitoso riego de adherencia. El estado del arte define una adecuada aplicación de riego de adherencia como aquella que exhibe una cobertura y dosificación uniforme a lo largo de toda la capa que se desea intervenir tanto en el plano horizontal como en juntas y cortes verticales.

“El propósito del riego de adherencia es promover la adherencia entre una superficie de pavimento y una sobrecapa, es muy importante que el riego de liga sea aplicado de una manera uniforme con cobertura total de la superficie y el arrastre del riego de adherencia por las llantas de las vagonetas debe ser minimizado”

“El riego de liga debe aplicarse en una capa fina y uniforme que cubra toda la superficie, incluyendo todas las superficies y juntas verticales de la estructura. Un riego de adherencia pobre puede causar problemas de desligamiento entre capas y la aplicación de un exceso de riego de liga puede causar deslizamiento entre capas”.

Es importante recalcar la importancia de la uniformidad del riego de liga en juntas y caras verticales, ya que es en este sitio donde el ligante asfáltico brinda adherencia entre secciones y mitiga el subsecuente agrietamiento de las juntas (departamento de transportes del estado de Ohio, 2012).

Como se mencionó anteriormente, existen diversos factores relacionados con funcionamiento, calibración y mantenimiento del equipo que pueden generar aplicaciones de riegos de liga no uniformes en el área de intervención. La no uniformidad de un riego de liga contribuye a la pérdida de resistencia por adherencia entre la capa existente y nueva capa colocada. Estudios internacionales consultados sobre la no uniformidad del riego de liga coinciden en que esta práctica constructiva repercute directamente en la transmisión y disipación de los esfuerzos al pavimento así como la reducción de la vida por fatiga de la estructura y la aparición de deterioros prematuros.

El instituto del asfalto (asphalt institute) menciona en su presentación “Buenas prácticas para la aplicación del riego de liga” realizada en el estado de Oklahoma en el año 2014, menciona que la independencia de capas producto de un pobre riego de liga incide en la reducción de la vida por fatiga de la estructura, aumenta probabilidad de ahuellamiento y desplazamiento de mezcla por cargas de empuje del tránsito. El mismo instituto del asfalto en su revista Asphalt Magazine publicada en el año 2015, menciona que:

“Múltiples investigaciones han mostrado que con una mínima pérdida de la resistencia adherencia entre capas, entre un 10% y un 30%, puede resultar en una pérdida de la vida a fatiga de entre un 50% a un 70%”.

4.2.5. Limitaciones de la ejecución y habilitación al tránsito.

No se permite la puesta en obra del riego de liga en las siguientes situaciones (salvo autorización expresa del inspector de calidad):

Cuando la temperatura ambiente a la sombra resulte inferior a diez grados Celsius (10°C). Dicho límite se puede bajar a cinco grados Celsius (5°C), a juicio del inspector de calidad, si la temperatura tiende a aumentar.

Cuando haya probabilidad o se produzcan precipitaciones atmosféricas.

Está prohibida la circulación de cualquier tipo de vehículo hasta que se haya producido la rotura de la emulsión en toda la superficie aplicada y siempre que no se verifique que parte del riego de liga se adhiere a los neumáticos de los vehículos.

El camión distribuidor deberá tener la capacidad de desarrollar la presión para que el material asfáltico salga expulsado a presión constante y uniforme por cada una de las boquillas de la barra rociadora en forma de abanico hacia la superficie. Otro aspecto a considerar es la velocidad de bombeo del material durante la operación en orden de asegurar el patrón de rocío deseado. Una presión demasiada baja dará como resultado un riego discontinuo por la descarga desigual del material en las boquillas individuales. Mientras que una presión demasiada alta deformará el abanico de riego (Asphalt Institute, 1965).

El camión distribuidor debe tener la capacidad de mantener la temperatura de la emulsión para asegurar una adecuada viscosidad y flujo del material a través de las boquillas de barra rociadora. La temperatura a la que debe mantenerse la emulsión dependerá del tipo de emulsión que se desea aplicar, la literatura sugiere rangos de aplicación de temperatura para emulsiones de rompimiento rápido entre los 21° C y los 60 °C y en emulsiones de rompimiento lento entre los 21°C y 70°C (NCHRP, 2012). Un exceso de calentamiento sobre el material bituminoso podría causar el rompimiento de la emulsión estando aún dentro del tanque del camión dosificador (departamento de transporte del estado de Ohio, 2012).

4.2.6. Plan de ensayos sobre el proceso de distribución del riego de adherencia

La frecuencia mínima de ensayos del proceso de distribución del riego de adherencia se realizará cada lote de obra que equivale a una distancia de 500 metros lineales o a 2500 metros cuadrados de dotación de riego.

Independientemente de la frecuencia especificada, se debe realizar al menos una vez cada uno de los ensayos detallados durante la ejecución del tramo de prueba.

Al cambiar un insumo y/o alguno de los materiales componentes del riego de liga se debe presentar una nueva dosificación de obra.

Tabla 4.6. Plan de ensayos sobre el proceso de distribución del riego de adherencia

Parámetro	Método	Frecuencia
Dotación de ligante convencional o modificado	(1)	Cada lote de obra

Fuente: Normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad, Argentina VN-E

Tabla 4.7. Plan de ensayos sobre unidad terminada

Parámetro	Método	Frecuencia
Evaluación superficial de la superficie	...	Cada lote de Obra
Ensayo de adherencia entre capas	UNE EN 12697-48, ensayo SBT	Cada cinco lotes De obra

Fuente: Normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad, Argentina VN-E

4.2.7. Requisitos del proceso de ejecución

4.2.7.1. Dotación del residuo asfáltico

La dotación media del residuo asfáltico residual del lote de obra en estudio es la media del residuo asfáltico residual obtenido a partir de no menos de tres muestras. La diferencia entre el mayor y el menor valor utilizados para el cálculo de la media, debe ser menor o igual a diez por ciento (10%).

Para la determinación de la dotación media del residuo asfáltico del riego de curado se deben disponer sobre la superficie a regar no menos de tres bandejas. Las mismas deben ser metálicas, de silicona, u otro material apropiado y aprobado por el inspector de calidad. La ubicación de las mismas sobre la superficie a regar debe ser de manera aleatoria, según lo indicado en el punto anterior. Generalidades. En cada uno de estos elementos se debe determinar la dotación de ligante residual, en gr/m², mediante secado a estufa y pesaje. La dotación media de ligante asfáltico residual del riego de curado del lote de obra en estudio debe ser superior a la indicada en la dotación de obra aprobada y vigente.

4.2.7.2. Evaluación visual

Una vez distribuido el riego de liga, previa aplicación de la capa asfáltica siguiente, se debe verificar que no existan superficies de la capa regada sin recubrimiento de emulsión asfáltica. Asimismo, el residuo asfáltico tener sus propiedades como elemento de liga. Si existen superficies de la capa regada sin recubrimiento de emulsión asfáltica, se rechaza el lote de obra en estudio. En estas situaciones, el Contratista debe proceder a tomar las medidas necesarias para subsanar la situación. En caso de que la superficie no recubierta aún conserve la humedad necesaria para un correcto curado, el contratista puede ejecutar un nuevo riego de curado sobre dicha la superficie. En caso de que la superficie no recubierta haya perdido la humedad, se debe proceder, una vez finalizado el fragüe del lote de obra en estudio, al reemplazo localizado de la capa en el área afectada. Esto se debe realizar según las especificaciones técnicas establecidas en el pliego de especificaciones técnicas generales. En este caso los costos asociados a estas tareas corren por cuenta del contratista.

4.3. Adherencia entre capas

4.3.1. Proceso de ejecución para el ensayo de corte LCB.

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.

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.

4.3.2. 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 sobrecapa, 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 realizará y evaluará a continuación.

4.3.3. 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 4.6. Testigo sometido a evaluación de adherencia a través de
Ensayo de corte LCB



Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. Aparatos y material necesario

4.3.4.1. Prensa

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

Figura 4.7. Prensa utilizada para la evaluación de adherencia a través de
Ensayo de corte LCB



Fuente: Elaboración propia.

4.3.4.2. Calibrador

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

4.3.4.3. 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 amordaza 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. 8. Dispositivo de corte



Fuente: Elaboración propia.

4.4. Metodología de ensayo

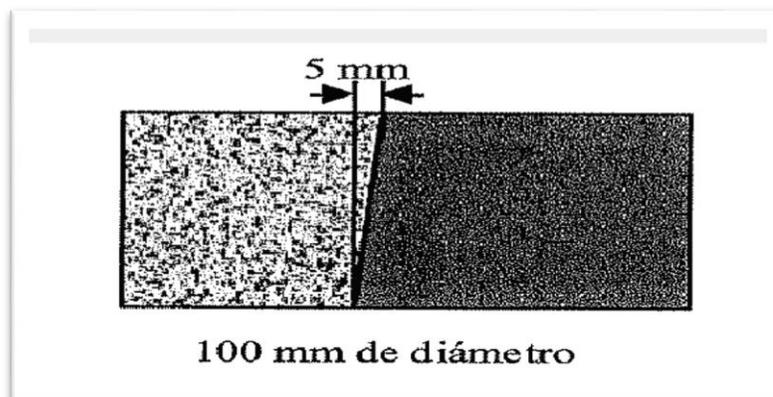
Aunque las dimensiones de los testigos no son característica privativas del ensayo. Se utilizaron preferentemente los de 100 mm de diámetro.

4.4.1. 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. 9. Desviación máxima aceptable



Fuente: Elaboración propia

4.4.2. 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 calculará la superficie de la sección transversal (S) mediante la expresión:

$$S = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

S = Área de la sección transversal del diámetro de testigo mm²

D = Diámetro del testigo en milímetros mm

4.4.3. Acondicionamiento térmico de los testigos

Una vez que se han extraído los testigos de la probeta de dos 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. 10. Colocado del testigo en la mordaza



Fuente: Elaboración propia.

4.5. Proceso de ejecución para el ensayo de corte LCB

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. 11. testigo sometido a evaluación de adherencia a través de
Ensayo de corte LCB



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

Figura 4. 12. Desplazamiento entre una capa y otra hasta alcanzar la deformación
máxima.



Fuente: Elaboración propia.

A partir del diagrama de carga- deformación de cada 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

$$T_c = \frac{\left(\frac{F_{max}}{2}\right)}{S}$$

Donde:

S = Es la superficie de la seccion transversal, en mm^2

T_c = Es la resistencia de corte en N/mm^2 (MPa)

F_{max} = Es la carga en N

Además del resultado de adherencia se informará de:

Deformacion a la carga máxima , en mm.

Origen de la muestra de ensayo: testigo extraído del pavimento y probeta fabricada en laboratorio.

Diámetro de la muestra de ensayo

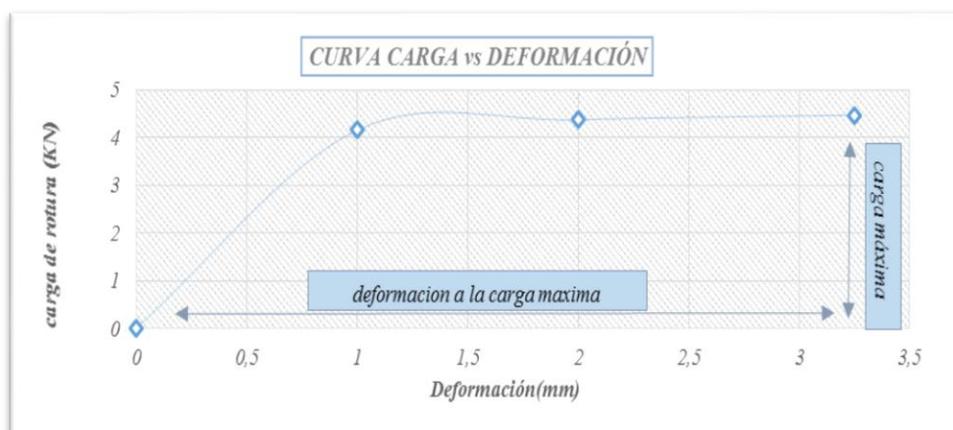
4.5.1. Resultados de la evaluación de la adherencia entre carpetas asfálticas

A continuación se describirán los resultados obtenidos de cada testigo que fue evaluado con un total de 30 testigos.

Tabla 4.8. 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	542	21°C	101	8062,5966	0		0	0	0,00
				100	7903,7316	423,15	4151,10	4,15	1	0,26
	riego de liga	2,67				445,26	4368,00	4,37	2	0,27
						455,27	4466,20	4,47	3,25	0,28
	carpeta existente	673								
	total	1217,67		promedio	100,5	7983,1641		máximo	4,47	3,25

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. 13. Curva carga vs Deformación

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. 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 LCB, realizado a testigos de 100 mm de diámetro con un riego de imprimación de 0.005 litros de la siguiente manera:

Tabla 4.9. Tabla de resultados obtenidos a través del ensayo de corte LCB 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)
1	1217,67	21,00	100,50	7983,16	455,27	4466,20	4,47	3,25	0,28
2	1223,71	21,00	101,50	8142,82	482,36	4731,95	4,73	3,10	0,29
3	1226,73	21,00	101,50	8142,81	485,95	4767,17	4,77	3,20	0,29
4	1121,76	21,00	100,50	7983,16	484,66	4754,51	4,75	3,15	0,30
5	1221,81	21,00	101,00	8063,38	491,69	4823,48	4,82	3,35	0,30
6	1212,98	21,00	100,50	7983,14	497,38	4879,30	4,88	3,15	0,31
7	1202,11	21,00	100,50	7983,16	508,34	4986,82	4,99	3,15	0,31
8	1209,17	21,00	100,50	7983,16	514,26	5044,89	5,04	3,15	0,32
9	1203,19	21,00	101,00	8063,38	520,36	5104,73	5,10	3,15	0,32
10	1197,61	21,00	100,50	7983,16	523,68	5137,30	5,14	3,45	0,32
11	1218,71	21,00	100,50	7983,16	530,69	5206,07	5,21	3,17	0,33
12	1198,75	21,00	100,50	7983,16	531,22	5211,27	5,21	3,20	0,33
13	1218,81	21,00	100,50	7983,16	533,89	5237,46	5,24	3,25	0,33
14	1211,90	21,00	100,50	7983,16	537,12	5269,15	5,27	3,35	0,33
15	1231,95	21,00	100,50	7983,16	546,22	5358,42	5,36	3,45	0,34
16	1217,05	21,00	100,50	7983,16	548,61	5381,86	5,38	3,15	0,34
17	1219,14	21,00	100,50	7983,16	549,36	5389,22	5,39	3,35	0,34
18	1219,21	21,00	100,50	7983,16	568,49	5576,89	5,58	3,25	0,35
19	1223,36	21,00	101,00	8062,60	623,94	6120,85	6,12	3,30	0,38
20	1206,40	21,00	100,50	7983,16	635,87	6237,88	6,24	3,15	0,39
21	1212,60	21,00	100,50	7983,16	675,21	6623,81	6,62	3,30	0,41
22	1232,80	21,00	100,50	7983,16	703,66	6902,90	6,90	3,15	0,43
23	1233,02	21,00	101,50	8142,82	722,37	7086,45	7,09	3,25	0,44
24	1220,12	21,00	101,50	8142,82	778,66	7638,65	7,64	3,58	0,47
25	1204,64	21,00	101,00	8062,60	826,11	8104,14	8,10	3,40	0,50
26	1221,70	21,00	100,50	7983,16	825,36	8096,78	8,10	3,30	0,51
27	1217,84	21,00	100,50	7983,16	743,83	7296,97	7,30	3,50	0,46
28	1218,97	21,00	101,00	8062,60	693,12	6799,51	6,80	3,35	0,42
29	1208,15	21,00	100,50	7983,16	633,38	6213,46	6,21	3,35	0,39
30	1204,50	21,00	100,50	7983,16	553,15	5426,40	5,43	3,55	0,34
valor maximo							8,10	3,58	0,51

Fuente: Elaboracion propia

El procedimiento y resultados se encuentran en el anexo F

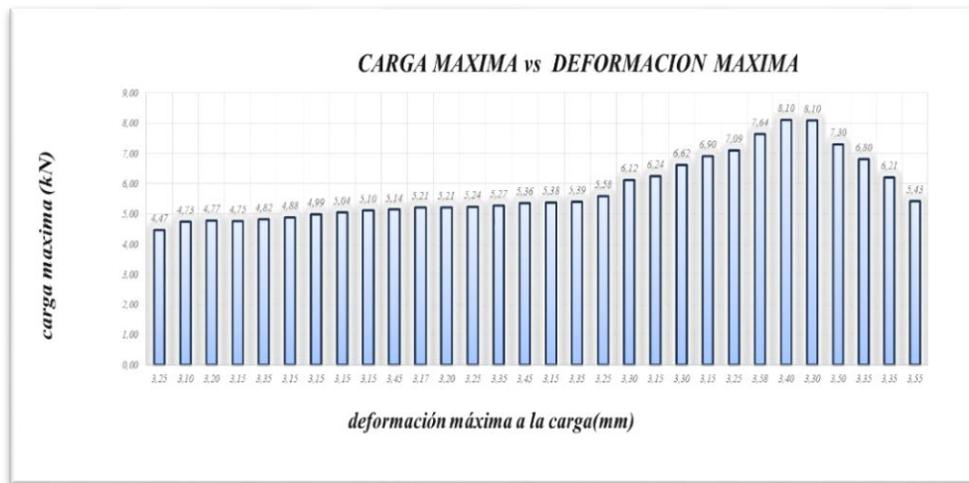
Donde a través de los resultados también se pudo proceder a realizar los presentes gráficos, a efecto de lograr una mejor visualización de las variables claves del ensayo tales como la carga, deformación a la carga y la adherencia utilizada como principal parámetro para la evaluación de la adherencia 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.

Tabla 4.10. Resultados
Carga máxima vs Deformación

carga máxima (kN)	deformación máxima a la carga(mm)
4,47	3,25
4,73	3,10
4,77	3,20
4,75	3,15
4,82	3,35
4,88	3,15
4,99	3,15
5,04	3,15
5,10	3,15
5,14	3,45
5,21	3,17
5,21	3,20
5,24	3,25
5,27	3,35
5,36	3,45
5,38	3,15
5,39	3,35
5,58	3,25
6,12	3,30
6,24	3,15
6,62	3,30
6,90	3,15
7,09	3,25
7,64	3,58
8,10	3,40
8,10	3,30
7,30	3,50
6,80	3,35
6,21	3,35
5,43	3,55
8,10	3,58

Fuente: Elaboración propia

figura 4.14. Variación de la Carga máxima vs Deformación máxima



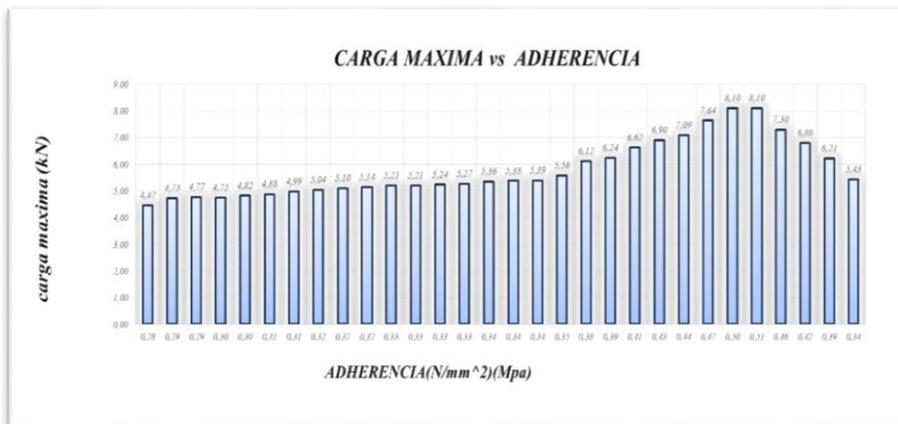
Fuente: Elaboración propia

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 4.47 KN con una deformación producida de 3.25 mm y la mayor carga aplicada fue de 8.10 KN con una deformación producida de 3.58 mm.

Tabla 4.11. Resultados
Carga máxima vs Adherencia

carga máxima (kN)	Adherencia
	(N/mm ²)(Mpa)
4,47	0,28
4,73	0,29
4,77	0,29
4,75	0,30
4,82	0,30
4,88	0,31
4,99	0,31
5,04	0,32
5,10	0,32
5,14	0,32
5,21	0,33
5,21	0,33
5,24	0,33
5,27	0,33
5,36	0,34
5,38	0,34
5,39	0,34
5,58	0,35
6,12	0,38
6,24	0,39
6,62	0,41
6,90	0,43
7,09	0,44
7,64	0,47
8,10	0,50
8,10	0,51
7,30	0,46
6,80	0,42
6,21	0,39
5,43	0,34
8,10	0,51

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15. 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 0.28 Mpa a 0.51 Mpa.

4.6. Validación de resultados

Con la finalidad de comprobar la idoneidad del dispositivo para la medición del porcentaje aplicado de emulsión con el cual se propone una metodología o sistema alternativo de mejora en la durabilidad respecto al tiempo con la mejora de la adherencia, y la validación de los resultados obtenidos esta investigación para un mejor control en cuanto a la mejora en puesta en obra del riego de adherencia.

Para validar los resultados obtenidos en esta investigación se trabajó con probetas con riego de liga con el mejor porcentaje obtenido de acuerdo a las diferentes dotaciones con las que se trabajó, y siguiendo todas las recomendaciones y especificaciones técnicas que se usan en otros países para la mejora de puesta en obra de riego de liga que influirá en la durabilidad de pavimento en construcción.

4.7. Análisis de costos

El análisis de costos se realizará para el riego de adherencia con emulsión, al mejor porcentaje de ambos que presentó un alto valor de resistencia a corte, determinado mediante el ensayo de adherencia (corte).

Análisis de costo de riego de liga.- El análisis de costo para el riego de liga de curado rápido RC-70, para una dotación de 0.5 litros por metro cuadrado, se detallará en las planillas de precio unitario.

La dosificación del riego de liga con emulsión y para la dotación de ligante convencional es de 37% de solvente y 63% de cemento asfáltico, esta dosificación y el análisis de costo serán para un área de 1 metro cuadrado.

Tabla 4.12. Planilla de costos para un riego de adherencia con cemento asfáltico para una tasa de 0.5 lt/m²

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DATOS GENERALES				
PROYECTO :		ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA MACRO-TEXTURA Y LA DOTACIÓN DE EMULSIÓN EN LA RESISTENCIA AL CORTE DE UN RIEGO DE ADHERENCIA TRAMO CANALETAS-PIEDRA LARGA		
ACTIVIDAD :		Riego de liga convencional		
UNIDAD :		m2		
MONEDA :		BOLIVIANOS		
1. MATERIALES				
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total
1	Cemento Asfáltico 85-100	Kg.	0,32	2,51
2	Gasolina	lt.	0,19	0,69
TOTAL MATERIALES				3,20
2. MANO DE OBRA				
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total
1	chofer	Hr.	0,001	0,015
2	ayudante	Unidad	0,002	0,03
3	Operador de planta	Hr.	0,001	0,02
4	Capataz	Hr.	0,001	0,02
SUBTOTAL MANO DE OBRA				0,08
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)			65,00 %	0,05
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE; SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES) (14.94%)			14,94 %	0,02
TOTAL MANO DE OBRA				0,14
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTA				
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Total
1	Camión distribuidor de asfalto	Hr.	0,001	0,22
2	Escoba Mecánica	Hr.	0,001	0,04
3	Planta diluid ora de asfalto	Hr.	0,001	0,39
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00 %	0,01
TOTAL MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS				0,65
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE (1+2+3)			5,00 %	0,20
TOTAL GASTOS GENERALES				0,20
5. UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE (1+2+3+4)			10,00 %	0,42
TOTAL UTILIDAD				0,42
6. IMPUESTOS				
IMPUESTOS = % DE (1+2+3+4+5)			3,09 %	0,14
TOTAL IMPUESTOS				0,14
TOTAL PRECIO UNITARIO = (1+2+3+4+5+6)				4,77
TOTAL PRECIO UNITARIO CON DOS (2) DECIMALES				4,77

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.13. Planilla de costos para un riego de adherencia con emulsión Betuprimer M3
para una tasa de 0.5 lt/m²

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DATOS GENERALES					
PROYECTO :		ESTIMACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA MACRO-TEXTURA Y LA DOTACIÓN DE EMULSIÓN EN LA RESISTENCIA AL CORTE DE UN RIEGO DE ADHERENCIA TRAMO CANALETAS-PIEDRA LARGA			
ACTIVIDAD :		Riego de liga con emulsión			
UNIDAD :		m2			
MONEDA :		BOLIVIANOS			
1. MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total
1	Betuprimer M3	Kg.	0,32	6,69	2,14
TOTAL MATERIALES					2,14
2. MANO DE OBRA					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total
1	chofer	Hr.	0,001	15	0,015
2	ayudante	Hr.	0,002	12,50	0,03
3	Operador de planta	Hr.	0,001	18,75	0,02
4	Capataz	Hr.	0,001	17,50	0,02
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0,08
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71.18%)				65,00 %	0,05
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE; SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES) (14.94%)				14,94 %	0,02
TOTAL MANO DE OBRA					0,14
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTA					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total
1	Camión distribuidor de emulsión	Hr.	0,001	223,00	0,22
2	Escoba Mecánica	Hr.	0,001	35,00	0,04
3	Planta diluidora de asfalto	Hr.	0,001	389,00	0,39
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)			5,00 %		0,01
TOTAL MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					0,65
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
GASTOS GENERALES = % DE (1+2+3)			5,00 %		0,15
TOTAL GASTOS GENERALES					0,15
5. UTILIDAD					
UTILIDAD = % DE (1+2+3+4)			10,00 %		0,31
TOTAL UTILIDAD					0,31
6. IMPUESTOS					
IMPUESTOS = % DE (1+2+3+4+5)			3,09 %		0,10
TOTAL IMPUESTOS					0,10
TOTAL PRECIO UNITARIO = (1+2+3+4+5+6)					3,50
TOTAL PRECIO UNITARIO CON DOS (2) DECIMALES					3,50

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Después del proceso de investigación realizado y los resultados se pueden establecer las siguientes conclusiones.

- El presente proyecto de investigación se logró realizar a partir de un estudio evaluativo, se logra concretar los objetivos y la hipótesis ya que se cumplieron con la evaluación y análisis de la influencia de la macro-textura y la dotación de emulsión en la resistencia al corte en el tramo de estudio, 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.
- Se observó que el riego de liga es necesario para asegurar la correcta unión entre dos capas de un pavimento flexible, ya que aumenta la resistencia al deslizamiento entre estas, dando así una mayor durabilidad al pavimento. Para esto la aplicación de riego debe ser con una dosificación adecuada, con una superficie preparada en cuanto a limpieza, uniformidad y correcta compactación el cual debe ser correctamente controlado en obra al momento de puesto en obra del riego de adherencia con emulsión.
- La dotación de emulsión para el riego de adherencia varía entre 0.2 lt/m² a 0.7 lt/m², se determinó una dotación de emulsión de 5 lt/m², ya que varía de acuerdo a las condiciones de la superficie, tanto para el ensayo de adherencia y resistencia a corte para una altura de penetración.
- Se ha encontrado en el ensayo LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona), una metodología simple y de fácil aplicación para el control de la adherencia entre capas de pavimentos.

- Se observó que la textura y la limpieza que presenta la superficie, en la cual se realiza el ensayo, influye en la absorción del riego de adherencia, ya que la absorción aumenta a medida que aumenta la rugosidad superficial y existe mayor presencia de polvo en la vía, se logra su verificación al momento de ruptura de las probetas, de tal manera que se pudo apreciar la penetración que hubo del riego de adherencia en la capa inferior de testigos extraídos del tramo en estudio Canaletas-Piedra Larga.
- La adherencia final conseguida entre las carpetas asfálticas dependió de varios factores, tales como una dosificación apropiada de riego de adherencia, la ejecución adecuada de la nueva carpeta asfáltica y en 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 LCB determinamos magnitudes tales como:
 - Carga máxima de rotura.
 - Deformación o desplazamiento máximo.
 - Adherencia calculada a partir de la carga máxima.
- 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 0.28 Mpa a 0.51 Mpa.

5.2. Recomendaciones

- Es recomendable conocer y averiguar todas las especificaciones que se deben 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.
- Como un parámetro razonable para una buena adherencia es recomendable que se cumpla con al menos 0,3 Mpa. de resistencia al corte, esto según las investigaciones realizadas.
- Se recomienda tomar en cuenta la uniformidad de la aplicación del riego de liga para que los valores que se obtengan al realizar el ensayo de corte, den valores precisos de la adherencia, ya que de esto dependerá la unión entre capas y evitará fallas en la estructura ante la acción de cargas de tránsito.
- Se recomienda que en nuestro medio se realicen ensayos más profundos a cerca de la adherencia entre capas para que las mismas se ejecuten de mejor manera en obra y se tengan mejores resultados de durabilidad de un pavimento flexible.
- Como una recomendación particular, es preciso la utilización de una indumentaria adecuada para la realización de las mezclas asfálticas, con el fin de evitar cualquier accidente. También es necesario tener precaución durante la dosificación del riego de adherencia ya que para ello se hace uso de gasolina como solvente, los cuales son inflamables, por eso se recomienda trabajar en ambientes adecuados y seguros.

