



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

DESARROLLO DE EMULSIÓN TERMOADHERENTE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ROY MARCELO ARAVENA MILLA

**PROFESOR GUÍA:
PATRICIO JORQUERA ENCINA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
DAVID CAMPUSANO BROWN
FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA**

**SANTIAGO DE CHILE
NOVIEMBRE 2007**

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: ROY ARAVENA M.
FECHA: 21/11/2007
PROF. GUIA: Sr. PATRICIO JORQUERA E.

“DESARROLLO DE EMULSIÓN TERMOADHERENTE”

El objetivo general del presente trabajo de título fue desarrollar una emulsión asfáltica para uso en riego de adherencia entre capas asfálticas, donde se incrementa la adherencia entre capas bituminosas sucesivas para asegurar que éstas trabajen de forma solidaria frente a las cargas del tráfico; También se espera disminuir o anular la adhesividad ligante-neumático del riego de emulsión con el tráfico de obra circulante en la fase de ejecución. Se requirió definir los ensayos para seleccionar la emulsión con las cualidades descritas anteriormente.

Generalmente los riegos de adherencia no cumplen de forma adecuada su función de garantizar la unión de las distintas capas del firme, fundamentalmente debido a que el ligante que queda en la superficie tratada se pega a los neumáticos de los vehículos que transitan por la obra.

Se desarrolló una serie de formulaciones de emulsión termoadherente, las que fueron caracterizadas, para lo cual se las sometió a ensayos para conocer el grado de estabilidad como emulsión de los productos obtenidos.

Se definió una serie de tres ensayos para medir la adherencia de las emulsiones: el ensayo de adhesividad, que permitió cuantificar cuan adhesivo es el riego a la superficie aplicada, el de corte, que permitió cuantificar la adherencia entre capas asfálticas unidas en caliente mediante un riego de liga y el ensayo de abrasión, que permitió cuantificar la adhesividad neumático-ligante.

Los resultados del ensayo de adhesividad permitieron seleccionar entre las distintas alternativas, la de mayor adhesividad como la emulsión termoadherente deseada, la que además debió ser ensayada al corte y a abrasión, para luego comparar su desempeño con las emulsiones tradicionales.

Se concluye que la formulación de emulsión asfáltica catiónica desarrollada presenta una mayor adherencia entre capas bituminosas sucesiva. Por las características del asfalto residual, esta emulsión es altamente adherente entre carpetas asfálticas calientes, lo que motiva su denominación de emulsión termoadherente. Gracias a esta particularidad, se logró disminuir hasta anular la adhesividad ligante-neumático del riego de emulsión con el tráfico de obra circulante en la fase de ejecución evitando pérdidas de eficiencia por disminución de la dotación del riego y preservando la limpieza de la obra. Se consiguió también una mayor eficiencia en cuanto a desempeño con respecto a las emulsiones tradicionales.

INDICE

Capítulo 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivos generales.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
 Capítulo 2	 3
ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	3
2.1 Emulsiones.....	3
2.2 Emulsiones Asfálticas	4
2.2.1 Tipos	5
2.2.2 Quiebre de las emulsiones asfálticas	6
2.2.3 Composición.....	7
2.2.3.1 Asfalto Modificado con Cera.....	7
2.2.3.2 Emulsificante	8
2.2.3.3 Agua.....	9
2.3 Ventajas de las emulsiones asfálticas	9
2.4 Usos de las emulsiones asfálticas catiónicas	10
 Capítulo 3	 11
PLANTEAMIENTO DEL DESARROLLO Y PROGRAMA DE ENSAYOS	11
3.1 Introducción.....	11
3.2 Objetivos.....	11
3.2.1 Objetivo General.....	11
3.2.2 Objetivos Específicos	12
3.3 Variable a estudiar:	12
3.4 Formulaciones Posibles de Emulsión Termoadherente	12
3.5 Programa de ensayos.....	15
3.5.1 Caracterización de las bases asfálticas	16
3.5.2 Caracterización de emulsiones	17
3.5.3 Adherencia de la emulsión.....	17
3.6 Descripción de los ensayos	17
3.6.1 Caracterización de las bases asfálticas	18
3.6.1.1 Penetración a 25°C	18
3.6.1.2 Punto de Ablandamiento.....	20
3.6.1.3 Índice de Penetración.....	21
3.6.1.4 Viscosidad.....	23
3.6.2 Caracterización de emulsiones	25
3.6.2.1 Tamizado	25
3.6.2.2 Viscosidad Saybolt Universal a 25°C.....	26
3.6.2.3 Residuo por evaporación	28
3.6.3 Adherencia de la emulsión.....	29
3.6.3.1 Adhesividad	29
3.6.3.2 Corte	31
3.6.3.3 Abrasión.....	32

Capítulo 4	35
DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL.....	35
4.2.1.1 CA-14	35
4.2.1.2 CA-24	36
4.2.1.3 CA60-80	37
4.2.2 Aditivo	37
4.2.2.1 Licomont BS-100.....	38
4.2.3 Emulsificante	38
4.2.4 Agua.....	39
4.2.5 Ácido Clorhídrico (HCl)	39
4.3 Preparación de asfaltos modificados.....	39
4.4 Preparación de emulsiones.....	41
4.5 Mezcla asfáltica para probetas de ensayo de corte.....	43
4.6 Slurry	44
4.7 Resultados	44
4.7.1 Caracterización de las bases asfálticas	44
4.7.1.1 Penetración a 25°C	44
4.7.1.2 Punto de Ablandamiento.....	46
4.7.1.3 Índice de Penetración.....	47
4.7.1.4 Viscosidad Brookfield	48
4.7.2 Resultado de las alterativas de emulsión formuladas	51
4.7.3 Caracterización de emulsiones asfálticas.....	56
4.7.3.1 Tamizado	56
4.7.3.2 Viscosidad Saybolt Universal.....	57
4.7.3.3 Residuo por evaporación	58
4.7.4 Adherencia.....	59
4.7.4.1 Selección de la emulsión Termoadherente	60
4.7.4.2 Comparación con emulsiones tradicionales.....	63
4.7.4.2.1 Estabilidad y adhesividad	63
4.7.4.2.2 Ensayo de Corte	65
4.7.4.2.3 Abrasión.....	68
Capítulo 5	71
ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	71
5.1 Caracterización de las bases asfálticas	71
5.1.1 Penetración a 25°C	71
5.1.2 Punto de Ablandamiento.....	71
5.1.3 Índice de Penetración.....	72
5.1.4 Viscosidad Brookfield	72
5.2 Resultado de las alterativas de emulsión formuladas.....	72
5.3 Caracterización de emulsiones asfálticas.....	73
5.3.1 Tamizado	73
5.3.2 Viscosidad Saybolt Universal.....	74
5.3.3 Residuo por evaporación	74
5.4 Adherencia.....	74
5.4.1 Selección de la emulsión Termoadherente	74
5.4.1.1 Adhesividad	74
5.4.2 Comparación con emulsiones tradicionales.....	75

INDICE

5.4.2.1	Estabilidad y adhesividad	75
5.4.2.2	Ensayo de Corte	75
5.4.2.3	Ensayo de Abrasión.....	76
Capítulo 6	77
CONCLUSIONES	77
BIBLIOGRAFIA	79
ANEXOS	80
A	FICHA TÉCNICA EMULSIONES TRADICIONALES	80
B	EQUIPO MEDIDOR DE ADHESIVIDAD	82
C	EMULSIFICANTE UTILIZADO EN LA EMULSIÓN TERMOADHERENTE	83
D	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LICOMONT BS-100	88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica.....	3
Figura 2 Quiebre de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo	7
Figura 3 Ensayo de Penetración a 25°C	19
Figura 4 Penetrómetro	19
Figura 5 Punto de ablandamiento	21
Figura 6 Viscosímetro rotacional Brookfield	25
Figura 7 Viscosímetro Saybolt	28
Figura 8 Equipo medidor de adhesividad	30
Figura 9 Ensayo de corte.....	32
Figura 10 Ensayo de abrasión.....	34
Figura 11 Licomont BS-100 en polvo	38
Figura 12 Asfalto modificado con Licomont BS-100	40
Figura 13 Revolvedora mecánica	40
Figura 14 Ensayo de Penetración	45
Figura 15 Ensayo de Punto de Ablandamiento	46
Figura 16 Indice de Penetración	47
Figura 17 Viscosidad Brookfield Base asfáltica CA60-80.....	48
Figura 18 Curva de Viscosidad Base asfáltica CA-24.....	49
Figura 19 Curva de Viscosidad Base asfáltica CA-14.....	50
Figura 20 Planta Piloto	55
Figura 21 Obtención de Emulsión.....	55
Figura 22 Tamizado	57
Figura 23 Viscosidad Saybolt Universal	58
Figura 24 Residuo por Evaporación.....	59
Figura 25 Ensayo de Adhesividad para el total de las emulsiones	61
Figura 26 Ensayo de Adhesividad Base Asfáltica CA60-80	61
Figura 27 Ensayo de Adhesividad Base Asfáltica CA-24	62
Figura 28 Ensayo de Adhesividad Base Asfáltica CA-14	62
Figura 29 Comparación de Adhesividades entre emulsiones desarrolladas y las tradicionales	64
Figura 30 Comparación de Adhesividades entre la emulsión desarrollada y las tradicionales	65
Figura 31 Probetas Marshall para ensayo de Corte	66
Figura 32 Resultados Ensayo de Corte para emulsión CSS-1H.....	67
Figura 33 Resultados Ensayo de Corte para emulsión SPRAMUL-ML	67
Figura 34 Resultados Ensayo de Corte para emulsión Termoadherente	68
Figura 35 Probetas para ensayo de Abrasión.....	69
Figura 36 Estado de probeta luego del ensayo de abrasión.....	69
Figura 37 Resultados Ensayo de Corte	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Formulaciones con Base Asfáltica CA-14.....	13
Tabla 2 Formulaciones con Base Asfáltica CA-24.....	14
Tabla 3 Formulaciones con Base Asfáltica CA60-80.....	15
Tabla 4 Bases Asfálticas.....	16
Tabla 5 Cemento asfáltico CA-14.....	36
Tabla 6 Cemento asfáltico CA-24.....	36
Tabla 7 Cemento asfáltico CA-24.....	37
Tabla 8 Diseño Óptimo de Asfalto.....	43
Tabla 9 Granulometría de las probetas.....	43
Tabla 10 Granulometría de las probetas.....	43
Tabla 11 Banda de trabajo.....	44
Tabla 12 Dosis recomendada para mezcla.....	44
Tabla 13 Ensaye de Penetración.....	45
Tabla 14 Puntos de Ablandamiento para Asfaltos Modificados.....	46
Tabla 15 Índice de Penetración de asfaltos no modificados.....	47
Tabla 16 Viscosidad Brookfield Base Asfáltica CA 60-80.....	48
Tabla 17 Viscosidad Brookfield Base asfáltica CA-24.....	49
Tabla 18 Viscosidad Brookfield Base asfáltica CA-14.....	50
Tabla 19 Emulsiones con Base Asfáltica CA-14.....	52
Tabla 20 Emulsiones con Base Asfáltica CA-24.....	53
Tabla 21 Emulsiones con Base Asfáltica CA 60-80.....	54
Tabla 22 Tamizado.....	56
Tabla 23 Viscosidad Saybolt Universal.....	57
Tabla 24 residuo por Evaporación.....	59
Tabla 25 Ensaye de Adhesividad.....	60
Tabla 26 Caracterización en cuanto a estabilidad de las emulsiones Tradicionales.....	63
Tabla 27 Adhesividad de la emulsión Termoadherente versus emulsiones Tradicionales.....	63
Tabla 28 Resistencia al corte.....	66
Tabla 29 Deformación última.....	66
Tabla 30 Resultados Ensayo de Abrasión.....	70

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

La aplicación de una emulsión bituminosa de adherencia clásica está siempre condicionada por el propio tráfico de la obra. Después del quiebre de la misma, es usual que el betún residual que queda sobre el soporte, se adhiera a las ruedas de los vehículos que circulan sobre el mismo. Esto produce un deterioro del tratamiento de adherencia, que pierde efectividad y provoca una gran suciedad en la obra. Estos motivos sumados al paso del tiempo y la entrada en servicio del asfalto, hace que los estratos (o capas) asfálticos unidos mediante la película de adherencia tradicional dejen de trabajar solidariamente, lo que produce fisuraciones en el estrato superior, y posteriormente en el resto.

Para evitar estas pérdidas de eficiencia y posteriores reparaciones o reemplazos, se desea desarrollar una emulsión asfáltica altamente adherente entre capas bituminosas en caliente. Esta emulsión debe presentar la particularidad que no se adhiere a los neumáticos de los vehículos de obra, preservando la limpieza de la obra y de sus accesos, conservando todas las buenas propiedades de las emulsiones convencionales.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivos generales*

El objetivo general del presente trabajo de título consiste en desarrollar un nuevo tipo de emulsión asfáltica catiónica para uso en riego de adherencia entre capas asfálticas, donde las características del asfalto residual de la emulsión, se hayan mejorado evitando así las exudaciones, “pegajosidad” a los neumáticos de los vehículos y aumentado la adherencia entre capas.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- Desarrollar una emulsión asfáltica para incrementar la adherencia entre capas bituminosas sucesivas para que estas trabajen de forma solidaria frente a las cargas del tráfico.
- Reducir o anular la adherencia neumático-ligante o pegajosidad, para mantener uniformes las dotaciones del riego aplicadas durante la ejecución de la obra.
- Establecer los ensayos que permitan seleccionar la emulsión con las cualidades descritas anteriormente.
- Aumentar la eficiencia del riego de adherencia con respecto a las emulsiones tradicionales.

Capítulo 2

ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1 Emulsiones

Se puede definir una emulsión como una dispersión fina parcialmente estabilizada de un líquido en otro, los cuales son no miscibles entre sí y están unidos por un emulsificante. Las emulsiones son sistemas formados por dos fases parcial o totalmente inmiscibles, en donde una forma la llamada fase continua (o dispersante) y la otra la fase discreta (o dispersa). Esto puede apreciarse en la Figura N°1, en donde se muestra un dibujo esquemático de una emulsión.

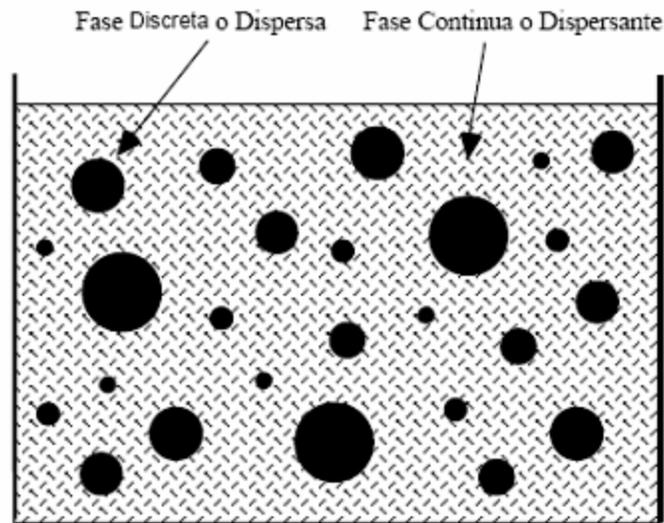


Figura 1 Representación esquemática de una emulsión aniónica y de una catiónica

Generalmente el tamaño de la fase discreta tiene alguna dimensión lineal entre 1 nanómetro y 1 micra. Son estos tamaños tan pequeños los que le dan a las emulsiones sus importantes e interesantes propiedades. La ciencia que trata con las emulsiones es multidisciplinaria, ya que involucra física, química, biología, etc.

Existen varios tipos de dispersiones de partículas de diferentes tamaños en diferentes tipos de medios; entre estas dispersiones se encuentran las emulsiones, las cuales son dispersiones de un líquido en otro.

Las emulsiones las podemos dividir en:

- Liofílicas: si a la partícula tiene afinidad con el solvente
- Liofóbicas: si a la partícula no tiene afinidad con el el solvente.

Si el medio es agua, entonces:

- liofílico = Hidrofílico y Liofóbico = Hidrofóbico

Las emulsiones liofílicas son verdaderas soluciones (desde el punto de vista termodinámico), por lo que no es fácil hablar de la superficie de la emulsión. Por el contrario, para emulsiones liofóbicas, debido a la diferencia de fases entre las partículas en la emulsión y el medio donde se encuentran dispersas, no existe ningún problema para definir la superficie de la emulsión. Por tanto, el concepto de superficie sólo es aplicable a sistemas multifásicos.

2.2 Emulsiones Asfálticas

En el caso de emulsiones asfálticas, los líquidos no miscibles son el agua y el asfalto. Adicionalmente se tiene el emulsificante el cual se deposita en la interface entre el agua y el asfalto y estabiliza la emulsión; éste depende del tipo de emulsión que se requiera.

2.2.1 Tipos

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas de acuerdo al tipo de emulsificante usado. En este caso podemos hablar de dos tipos, aniónicas y catiónicas:

- **Emulsiones Aniónicas:**

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad negativa a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga negativa.

- **Emulsiones Catiónicas:**

En este tipo de emulsiones el agente emulsificante le confiere una polaridad positiva a los glóbulos, o sea que éstos adquieren una carga positiva.

Respecto a la estabilidad de las emulsiones asfálticas, éstas se pueden clasificar en:

- **Quiebre Rápido:** Son aquellas emulsiones que en presencia de los áridos se “desestabilizan” rápidamente para que el asfalto se deposite como una capa sobre el árido. Estas se utilizan para riegos de liga y tratamientos superficiales con gravilla. El tiempo de evaporación del agua es cercano a 30 minutos.
- **Quiebre Medio:** Son aquellas emulsiones que en presencia de los áridos se “desestabilizan” a una velocidad intermedia para que el asfalto se deposite como una capa sobre el árido. Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de fino es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos y rehabilitaciones. El tiempo de evaporación del agua es cercano a 60 minutos.
- **Quiebre lento:** Son aquellas emulsiones que en presencia de los áridos se “desestabilizan” a una velocidad lenta para que el asfalto se deposite como una capa sobre el árido. Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío

elaboradas en planta, para estabilizaciones asfálticas y lechadas asfálticas. El tiempo de evaporación del agua es superior a las tres horas.

- **Súper estables:** Estas se emplean en la estabilización de materiales y en la recuperación de pavimentos.

2.2.2 Quiebre de las emulsiones asfálticas

Cuando se usa emulsiones asfálticas, es necesario controlar la estabilidad de la emulsión, así como también controlar el quiebre de la misma. Pasado un cierto tiempo, que depende de la situación en particular que se está trabajando, las emulsiones tienen que desestabilizarse para que el asfalto se deposite como una capa sobre el material pétreo.

Este fenómeno de quiebre de la emulsión ocurre debido a la carga eléctrica que tiene el material pétreo. La carga que tiene el material pétreo neutraliza la carga de las partículas de asfalto en la emulsión, permitiendo que se acerquen unas a otras para formar agregados de gran tamaño; estos agregados son los que se depositan sobre el material pétreo formando una capa asfáltica.

Durante este proceso el agua es eliminada del sistema asfalto – pétreo. En el proceso de desestabilización, la emulsión al perder agua, pasa por una emulsión inversa donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase dispersa, es decir, se forman pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, las cuales son eliminadas posteriormente, cuando se deposita la capa de asfalto.

En general, los factores que influyen en el quiebre de la emulsión aniónica son la evaporación de la fase acuosa, la difusión del agua de la emulsión y la absorción superficial de una parte del emulsificante en el material pétreo. El quiebre de la emulsión catiónica se produce por la absorción de la parte polar del emulsificante por los agregados, provocando el quiebre de la emulsión y haciendo que las partículas del asfalto se adhieran inmediatamente a las partículas del material pétreo, aun en

presencia de humedad. En la figura 2 se puede observar el proceso de quiebre de una emulsión en tres pasos: primero se observa la emulsión, enseguida cuando se inicia el rompimiento y después cuando se produce el quiebre completo y queda el material pétreo cubierto por el asfalto.

La forma de quiebre de las emulsiones asfálticas catiónicas, en la mayoría de los casos, mejora la adherencia y permite una mejor distribución de la mezcla dentro de la masa del agregado pétreo; adicionalmente permite proseguir los trabajos de asfaltado en regiones con climas húmedos o durante una temporada de lluvias, garantizando la apertura de caminos al tránsito en un período breve de tiempo.

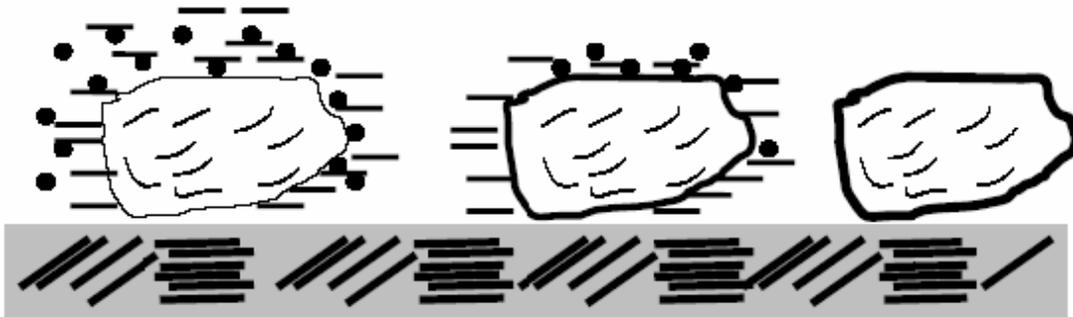


Figura 2 Quiebre de una Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo

2.2.3 Composición

Las emulsiones asfálticas están compuestas por tres elementos fundamentales: asfalto, agua y emulsificante.

2.2.3.1 Asfalto Modificado con Cera

La modificación del asfalto es una técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de cera o polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con cera, es contar con asfaltos más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un asfalto de mejores características adhesivas.

Se consideró para el desarrollo de las emulsiones, tres tipos de asfaltos: CA 60-80, CA-24 y CA-14, todos ellos pertenecientes a la línea de trabajo de SHELL S.A., los que serán modificados con polímero, variando el porcentaje de participación en relación al peso total.

La cera utilizada para modificar los asfaltos corresponde a Licomont BS100, cuya ficha técnica se encuentra en el anexo de la presente memoria de título, así como las fichas técnicas de los asfaltos empleados.

2.2.3.2 Emulsificante

La función del emulsificante es mantener estable el sistema conformado por la fase continua, que es el agua, y la discontinua que esta constituida por pequeños glóbulos de asfalto en suspensión, de un tamaño que fluctúa entre 1 y 10 micrones. Los agentes emulsificantes forman una película protectora alrededor de los glóbulos de asfalto estableciéndoles una determinada polaridad en la superficie, lo que hace que éstos se repelan, manteniéndose estable la emulsión.

Cuando una emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio eléctrico que rompe la emulsión llevando a las partículas de asfalto a unirse a la superficie del agregado, y el agua fluye o se evapora separándose de las piedras recubiertas por el asfalto. Hay agentes emulsificadores que permiten que esta rotura o quiebre sea instantáneo y otros más poderosos que retardan este fenómeno.

Es por esto que la elección del emulsificante, resulta ser de vital importancia. Para el desarrollo de la emulsión, se utilizará el emulsificante denominado EMULSIV 196/95, cuya ficha técnica se encuentra en el anexo y el emulsificante Indulin w5.

2.2.3.3 Agua

El agua corresponde a la fase continua dentro de la emulsión. Su presencia es vital, puesto que representa un elemento indispensable para tener una emulsión. Además de constituir la fase continua, el agua mediante la adición de ácido clorhídrico en una muy baja concentración, ayuda a preservar el pH de la emulsión, y con ello la estabilidad de la emulsión asfáltica catiónica.

2.3 Ventajas de las emulsiones asfálticas

Las ventajas de las emulsiones asfálticas sobre los asfaltos diluidos y mezclas asfálticas en caliente son:

- 1) Es un ligante asfáltico no contaminante ni peligroso, ya que contiene de un 35% a un 40% de agua como solvente.
- 2) Por su aplicación en frío, no altera el medio ambiente y no existe emisión de humos o gases.
- 3) Su manejo es sencillo y seguro, gracias a su baja viscosidad a temperatura ambiente.
- 4) Tiene un límite de almacenamiento, ya que puede ser almacenado por semanas.
- 5) Tiene una gran adhesión con cualquier agregado pétreo, a pesar de condiciones de humedad adversas debido a la enorme dispersión de las partículas de asfalto de tamaño muy pequeño y al uso de agentes emulsificantes de tipo catiónico.
- 6) Presenta un bajo costo de la fase dispersante, que es el agua.
- 7) Se emplean materiales pétreos locales, lo que elimina la transportación de este tipo de materiales por grandes distancias.
- 8) El equipo de aplicación es mucho más sencillo debido a que todos sus componentes se aplican a temperatura ambiente.

2.4 Usos de las emulsiones asfálticas catiónicas

El asfalto es un importante material termoplástico que es ampliamente usado en la construcción y sus usos se hacen extensivos a las emulsiones asfálticas catiónicas, entre los que destacan:

a) **Tratamientos superficiales, pavimentos asfálticos:**

- **Riego de imprimación:** Riego de emulsión realizado sobre base granular, en forma previa a la colocación sobre ésta de una capa asfáltica o de un tratamiento superficial con asfalto
- **Riegos negros con emulsión diluida:** Riego de emulsión diluida realizado sobre pavimento existente, el cual presenta pequeñas fisuras.
- **Riego de liga:** Riego de emulsión diluida, realizado entre capas asfálticas, el cual actúa como puente de adherencia
- **Riego de sello con arena:** Riego de emulsión sobre pavimento seguido de aplicación de arena al voleo, para el sellado superficial.

b) Slurry y Micropavimentos: Es un tratamiento superficial, para el sellado de superficie del pavimento y la recuperación de la textura superficial.

c) Bacheo: Mezcla in - situ de emulsión y árido seleccionado para el sellado de baches en el pavimento.

d) Grava Emulsión: Mezcla en planta de emulsión y grava seleccionada, para la estabilización de la base granular.

Capítulo 3

PLANTEAMIENTO DEL DESARROLLO Y PROGRAMA DE ENSAYOS

3.1 Introducción

Los riegos de adherencia tienen la misión fundamental de garantizar la correcta unión de sucesivas capas bituminosas que conforman un firme flexible, con la finalidad de que estas trabajen de forma solidaria frente a las cargas de tráfico.

Sin embargo, con frecuencia los riegos de adherencia no cumplen de forma adecuada su función de garantizar la unión de las distintas capas del firme, fundamentalmente debido a que el ligante que queda en la superficie tratada se pega a los neumáticos de los vehículos que transitan por la obra.

3.2 Objetivos

Se ha definido tanto objetivos específicos como generales para enfrentar y dar solución a los problemas descritos anteriormente.

3.2.1 *Objetivo General*

El objetivo general del presente trabajo consiste en desarrollar un nuevo tipo de emulsión asfáltica catiónica cuyas características permitan dar solución a la problemática que enfrenta el riego de adherencia convencional que se efectúa en las carpetas asfálticas, por lo que se pretende disminuir o anular la adherencia existente entre el riego de adherencia y los neumáticos del tráfico circulante en obra, así como mejorar la adherencia entre capas asfálticas.

3.2.2 *Objetivos Específicos*

Los objetivos específicos del presente trabajo de título son los siguientes:

- Desarrollar una emulsión asfáltica para incrementar la adherencia entre capas bituminosas sucesivas para que estas trabajen de forma solidaria frente a las cargas del tráfico.
- Reducir o anular la adherencia neumático-ligante o pegajosidad, para mantener uniformes las dotaciones del riego aplicadas durante la ejecución de la obra.
- Establecer los ensayos que permitan seleccionar la emulsión con las cualidades descritas anteriormente.
- Aumentar la eficiencia del riego de adherencia con respecto a las emulsiones tradicionales.

3.3 Variable a estudiar:

Se estudiará la adherencia de la emulsión tanto con los neumáticos del tráfico de obra, así como la adherencia entre capas asfálticas calientes.

3.4 Formulaciones Posibles de Emulsión Termoadherente

Para el desarrollo de la emulsión asfáltica termoadherente, se trabaja con diferentes formulaciones, variando las bases asfálticas y los emulsificantes, obteniéndose un total de 18 formulaciones a evaluar. Se presenta una breve descripción de los materiales empleados. En el capítulo siguiente se entregarán especificaciones de los mismos.

Asfaltos:

Se considera tres cementos asfálticos para el desarrollo: CA-14, CA-24 y CA 60/80, todos ellos disponibles en el mercado.

Aditivo:

El aditivo empleado para modificar los cementos asfálticos corresponde a una cera. El nombre del producto es Licomont BS-100. Su ficha técnica se adjunta en el anexo D.

Emulsificantes:

Los aditivos utilizados para modificar los cementos asfálticos son dos: Emulsiv 196/95 e Indulin W5.

Las formulaciones empleadas en el desarrollo son las siguientes:

Tabla 1 Formulaciones con Base Asfáltica CA-14

Componentes	% en Peso	Componentes	% en Peso
CA-14 + 1% Licomont	30	CA-14 + 1% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2	INDULIN W-5 (CSS)	1,2
HCl	0,16	HCl	0,16
Agua	68,64	Agua	68,64
Total	100	Total	100

Componentes	% en Peso	Componentes	% en Peso
CA-14 + 2% Licomont	30	CA-14 + 2% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2	INDULIN W-5 (CSS)	1,2
HCl	0,16	HCl	0,16
Agua	68,64	Agua	68,64
Total	100	Total	100

Componentes	% en Peso	Componentes	% en Peso
CA-14 + 3% Licomont	30	CA-14 + 3% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2	INDULIN W-5 (CSS)	1,2
HCl	0,16	HCl	0,16
Agua	68,64	Agua	68,64
Total	100	Total	100

Tabla 2 Formulaciones con Base Asfáltica CA-24

Componentes	% en Peso	Componentes	% en Peso
CA-24 + 1% Licomont	30	CA-24 + 1% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2	INDULIN W-5 (CSS)	1,2
HCl	0,16	HCl	0,16
Agua	68,64	Agua	68,64
Total	100	Total	100

Componentes	% en Peso	Componentes	% en Peso
CA-24+ 2% Licomont	30	CA-24 + 2% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2	INDULIN W-5 (CSS)	1,2
HCl	0,16	HCl	0,16
Agua	68,64	Agua	68,64
Total	100	Total	100

Componentes	% en Peso	Componentes	% en Peso
CA-24 + 3% Licomont	30	CA-24 + 3% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2	INDULIN W-5 (CSS)	1,2
HCl	0,16	HCl	0,16
Agua	68,64	Agua	68,64
Total	100	Total	100

Tabla 3 Formulaciones con Base Asfáltica CA60-80

Componentes	% en Peso	Componentes	% en Peso
CA 60-80 + 1% Licomont	30	CA 60-80 + 1% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2	INDULIN W-5 (CSS)	1,2
HCl	0,16	HCl	0,16
Agua	68,64	Agua	68,64
Total	100	Total	100

Componentes	% en Peso	Componentes	% en Peso
CA 60-80 + 2% Licomont	30	CA 60-80 + 2% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2	INDULIN W-5 (CSS)	1,2
HCl	0,16	HCl	0,16
Agua	68,64	Agua	68,64
Total	100	Total	100

Componentes	% en Peso	Componentes	% en Peso
CA 60-80 + 3% Licomont	30	CA 60-80 + 3% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2	INDULIN W-5 (CSS)	1,2
HCl	0,16	HCl	0,16
Agua	68,64	Agua	68,64
Total	100	Total	100

3.5 Programa de ensayos

El programa de ensayos de este trabajo se divide en tres partes. En la primera etapa se busca conocer las características de las bases asfálticas.

La siguiente, permite efectuar la caracterización de las emulsiones desarrolladas, esto es, comprobar que el producto desarrollado en el molino coloidal cumple con los requisitos para ser considerado emulsión asfáltica, lo que corresponde a la caracterización de las emulsiones.

En la tercera etapa se selecciona la mejor opción de las emulsiones desarrolladas como la emulsión termoadherente, a partir de las características propias de emulsión asfáltica y su desempeño en el ensaye de adhesividad. Luego se compara el comportamiento de la emulsión termoadherente con dos emulsiones tradicionales, en cuanto a adherencia con la capa siguiente de asfalto y en cuanto a la adherencia con los neumáticos del tráfico de obra (“pegajosidad” con los neumáticos).

3.5.1 Caracterización de las bases asfálticas

Para el desarrollo de la emulsión termoadherente, se considera el estudio tres cementos asfálticos de uso común en nuestro país, CA14, CA24 y CA60-80, modificados con el polímero Licomont BS-100.

Se tiene nueve bases asfálticas a partir de las cuales se desarrollarán las diferentes alternativas de emulsión, las que se presentan a continuación:

Tabla 4 Bases Asfálticas

Base	Asfalto	Contenido de Asfalto	Contenido de Licomont BS-100
1	CA14	99%	1%
2	CA14	98%	2%
3	CA14	97%	3%
4	CA24	99%	1%
5	CA24	98%	2%
6	CA24	97%	3%
7	CA60-80	99%	1%
8	CA60-80	98%	2%
9	CA60-80	97%	3%

Nota: El contenido de asfalto y el contenido de Licomont BS-100 son porcentajes referidos al peso total (Asfalto+Licomont BS-100)

Luego, estas bases asfálticas o asfaltos modificados deben ser caracterizados, para así conocer las características del asfalto residual que se obtiene luego del quiebre de la emulsión. Los ensayos considerados son tres: penetración, punto de ablandamiento y viscosidad a 25°C.

3.5.2 Caracterización de emulsiones

Es necesario conocer las cualidades de las emulsiones que se obtengan, para saber si se trata efectivamente de una emulsión, y de que tipo. Los ensayos a efectuar son tres: tamizado, viscosidad universal y contenido de residuo por evaporación. Las especificaciones de estos ensayos se encuentran presentes en la norma NCh 2348 Of1998.

3.5.3 Adherencia de la emulsión

Para conocer el grado de adherencia de las emulsiones con una nueva carpeta asfáltica, se han definido dos ensayos: el ensayo de adhesividad y el ensayo de corte. Para medir la adherencia con los neumáticos del tráfico de obra (pegajosidad con los neumáticos), se define el ensayo de abrasión.

Esta etapa se divide en dos: primero se efectúa el ensayo de adhesividad, cuyos resultados, junto a los resultados de los ensayos de caracterización, permiten seleccionar la mejor opción como emulsión termoadherente. Luego, se compara la emulsión seleccionada con dos emulsiones existentes en el mercado, tanto en adherencia como en caracterización.

3.6 Descripción de los ensayos

Los ensayos se efectuarán en las dependencias de IDIEM (Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales), específicamente en los laboratorios de Polímeros y de Pavimentación Urbana.

Los ensayos se realizarán según lo dispuesto en las Normas Chilenas vigentes o bien en normas internacionales.

3.6.1 Caracterización de las bases asfálticas

La caracterización de las bases asfálticas requiere de una serie de ensayos que permiten conocer las propiedades básicas del material.

3.6.1.1 Penetración a 25°C

Este ensayo es descrito en el Manual de Carreteras 8.302.3 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE DE PENETRACION (LNV 34) y en la Norma Chilena NCh2340.

Este ensaye permite determinar la dureza de materiales bituminosos sólidos y semisólidos mediante penetración. Representa una medida de consistencia; esto es, penetraciones altas (valores altos) indican consistencias más blandas, mientras que magnitudes bajas corresponden a consistencias duras.

El método consiste en calentar y enfriar una muestra de asfalto bajo condiciones controladas. El instrumento que permite registrar la penetraciones el penetrómetro, que mediante una aguja estándar, penetra verticalmente la muestra, a una temperatura, carga y tiempo fijos. Se registra la penetración en décimas de milímetro.

Procedimiento de ensayo

- Se calienta el asfalto y se vierte la muestra en la cápsula contenedora a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensaye (25°C), la profundidad de la muestra sea a lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre.
- Se protege la cápsula permitiendo que la muestra se enfríe y luego se sumerge en baño de agua a temperatura constante (25°C), por un periodo de 1 a 1,5 horas.
- Se examina la aguja y guía para comprobar que este perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Se coloca una masa de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de 100 + 0,1 g.
- Se posiciona la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra.

Capítulo 3 PLANTEAMIENTO DEL DESARROLLO Y PROGRAMA DE ENSAYOS

- Se deja penetrar a la aguja por un periodo de 5 segundos y se toma la lectura del equipo.

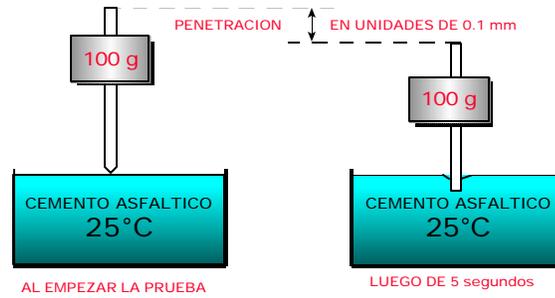


Figura 3 Ensayo de Penetración a 25°C



Figura 4 Penetrómetro

3.6.1.2 Punto de Ablandamiento

Este ensaye está definido en el Manual de Carreteras 8.302.16 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL APARATO DE ANILLO Y BOLA (LNV 48) y en la Norma Chilena NCh 2337Of98.

El punto de Ablandamiento corresponde a la menor temperatura a la que una muestra, contenida y suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas, es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero, cuando la muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad fija, en un baño de agua o glicerina.

En general, con materiales asfálticos, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida (el rango varía de 30 a 200°C). A medida que la temperatura aumenta, el material ensayado comienza a perder consistencia hasta tocar al superficie inferior al anillo.

Procedimiento de ensayo

- Se calienta el asfalto de manera uniforme, hasta que esté suficientemente fluido para verterlo.
- Se vierte la muestra dentro del anillo, precalentado aproximadamente a la temperatura de vertido. Mientras se llenan los anillos debe apoyarse sobre una placa de bronce, previamente recubierta con un agente desmoldante, para prevenir que el material bituminoso se adhiera a la placa. Se deja enfriar por lo menos durante 30 minutos
- Una vez enfriado se procede a enrasar, cortando el exceso de material con una espátula o cuchillo ligeramente caliente.
- Se coloca el anillo en el aparato, así como también el termómetro y la guía para centrar las bolas en posición y se llena el baño con agua fresca destilada a $5 \pm$

1°C a una profundidad no menor de 100 mm, ni mayor de 110 mm. Se mantiene la temperatura del baño a 5°C durante 15 min, colocando el recipiente del ensaye inmerso en agua helada. Se coloca una bola previamente ajustada a la misma temperatura del baño, en cada una de las guías (o coronas) de centraje de las bolas.

- Se aplica calor de manera que la temperatura del aumento con una velocidad constante de 5°C por minuto. Se deben evitar las corrientes de aire.
- Se registra para cada anillo y bola la temperatura indicada por el termómetro, lo que corresponde al punto de ablandamiento (temperatura de ablandamiento) en el instante que la muestra que rodea la bola, toque la placa inferior.



Figura 5 Punto de ablandamiento

3.6.1.3 Índice de Penetración

Los asfaltos, incluyendo los modificados, ya sea con polímeros u otro aditivo, son susceptibles a las variaciones térmicas, debido a la naturaleza termoplástica del material. Es necesario cuantificar de alguna forma los cambios en la consistencia, generados por la temperatura. Se define entonces una expresión que relaciona el grado

de consistencia, o viscosidad con la temperatura. Esta expresión, formulada por Pfeiffer y Van Doormaal, se obtiene a partir de la gráfica del logaritmo de la penetración (P) versus temperatura (T), con lo que se obtiene una recta, según se aprecia a continuación:

$$\log(P) = A \cdot T + K \quad (1)$$

Donde:

A: susceptibilidad de la temperatura del logaritmo de la penetración

K: corresponde a una constante.

La temperatura es medida en grados Celsius y la penetración en décimas de milímetro.

El valor de A varía de 0,015 a 0,06. A partir de esto, y considerando que la susceptibilidad térmica para asfaltos empleados en camino, asumiría un valor cercano a cero, Pfeiffer y Van Doormaal definieron el Índice de Penetración como:

$$\frac{20 - IP}{10 + IP} = 50 \cdot A \quad (2)$$

Despejando IP:

$$IP = \frac{20 \cdot (1 - 25 \cdot A)}{1 + 50 \cdot A} \quad (3)$$

Suele usarse tanto IP, como A, puesto que están estrechamente ligados. El valor de IP varía de IP=-3 que corresponde a una alta susceptibilidad térmica, a IP=7 que corresponde a una baja susceptibilidad térmica. Al tratarse de una expresión lineal, los valores de A e IP se pueden obtener a partir de dos penetraciones a distintas temperaturas. Considerando dos temperaturas diferentes, T1 y T2 se tiene:

$$A = \frac{\log(\text{pen}T1) - \log(\text{pen}T2)}{T1 - T2} \quad (4)$$

Además, Pfeiffer y Van Doormaal observaron que para la temperatura del punto de ablandamiento, la mayoría de los betunes tienen una penetración cercana a 800. Considerando la temperatura del punto de ablandamiento ASTM igual a T2 y reemplazando en (4):

$$A = \frac{\log(\text{pen}T1) - \log(800)}{T1 - \text{Puntode Ablandamiento}} \quad (5)$$

Considerando el otro punto como la penetración a 25°C, se tiene que T1=25°C, con lo que se obtiene:

$$IP = \frac{1952 - 500 \cdot \log(\text{penetración a } 25^\circ \text{C}) - 20 \cdot \text{Puntode Ablandamiento}}{50 \log(\text{penetración a } 25^\circ \text{C}) - \text{Puntode Ablandamiento} - 120} \quad (6)$$

Entonces se puede calcular el IP a partir de la ecuación (6), sin embargo asumir una penetración de 800 para todos los asfaltos puede afectar los resultados, por lo que es recomendable verificar este valor a partir de dos penetraciones a diferentes temperaturas.

3.6.1.4 Viscosidad

Este método está descrito en el Manual de Carreteras 8.302.24 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA MEDIR LA VISCOSIDAD MEDIANTE EL VISCOSIMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD.

La viscosidad del asfalto a altas temperaturas se mide para determinar si un asfalto puede ser manejado y bombeado en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas temperatura-viscosidad, los que se utilizan para estimar las temperaturas de mezclado y compactación a utilizar durante el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

Se denomina coeficiente de viscosidad a la razón entre el esfuerzo de corte aplicado y la tasa de corte; es una medida de la resistencia del líquido a fluir y comúnmente se denomina viscosidad. En el Sistema Internacional, la unidad de viscosidad es el pascal segundo (Pa s); en el sistema CGS, la unidad de viscosidad es

el poise (dina s/cm²) y equivale a 0,1 Pa s. Frecuentemente, se usa como unidad de viscosidad el centipoise, que equivale a un milipascal segundo (mPa s).

Algunos asfaltos pueden exhibir un comportamiento no Newtoniano bajo las condiciones de este ensayo, o a temperaturas dentro del rango de este método. Los valores de viscosidad no Newtonianos no son la única propiedad del material, pero reflejan el comportamiento del fluido bajo las condiciones particulares del ensayo. En estos casos, las medidas hechas con este método no siempre predicen el comportamiento bajo las condiciones de uso posterior. Las comparaciones entre valores de viscosidad no Newtonianos se deben hacer sólo para mediciones realizadas con viscosímetros similares, bajo condiciones similares de esfuerzo de corte e historia de tensiones.

Procedimiento de ensayo:

- Se enciende el viscosímetro rotacional y el controlador de temperatura.
- Se precalienta el contenido de asfalto, el soporte y el vástago seleccionado de acuerdo a las instrucciones del fabricante.
- Se configura el controlador de temperatura a la temperatura deseada.
- Se calienta la cantidad de asfalto, según lo recomendado por el fabricante.
- Cuando el controlador de temperatura indique que se ha alcanzado la temperatura de ensayo deseada, se retira el soporte de las muestras y se coloca la cantidad de asfalto requerida en el contenedor de asfalto.
- Se inserta el contenedor de la muestra en la unidad controladora de temperatura.
- Se inserta el vástago previamente calentado y se une a la parte inferior del viscosímetro. Una vez acoplados, se baja suavemente de modo que penetre en la muestra asfáltica hasta que el asfalto cubra la parte cónica superior del vástago.
- Se lleva la muestra de asfalto a la temperatura de ensayo por 30 minutos y se deja estabilizar por 10 minutos.

- Se configura la velocidad de giro del viscosímetro y se ajusta el equipo de manera que la lectura de torque quede dentro de rango para el vástago y la velocidad de giro seleccionados.
- Una vez estabilizada la muestra se inicia el ensayo.



Figura 6 Viscosímetro rotacional Brookfield

3.6.2 *Caracterización de emulsiones*

La caracterización de las emulsiones, permite calificar al producto obtenido del proceso de emulsificación como una emulsión asfáltica propiamente tal, o por defecto, rechazarlo. Los ensayos considerados se presentan a continuación.

3.6.2.1 *Tamizado*

Mediante este ensayo se determina si en las emulsiones existen principios de coagulación. Se realiza calculando la proporción de emulsión que no pasa por un tamiz especificado.

Este método está descrito en el Manual de Carreteras 8.302.5 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE PARA EMULSIONES.

Para efectuar este ensayo se requiere de un tamiz de 75 mm de diámetro teniendo una malla tejida de alambre de 0,85 mm (Nº20).

Procedimiento de ensayo:

- Se registra la masa del tamiz y la paila y se moja la malla de alambre con una solución al 2% de oleato de sodio.
- Se pesa un kg de la emulsión asfáltica dentro de un recipiente adecuado y se vierte a través del tamiz.
- Se lava el recipiente y el residuo sobre el tamiz con la solución de oleato de sodio hasta que el agua de lavado salga clara.
- Se coloca la paila sobre el tamiz y se calienta por 2 horas a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ en horno de secado.
- Se enfría en el desecador y se pesa el tamiz, la paila y el residuo.
- Se calcula el porcentaje de muestra retenida sobre el tamiz.

3.6.2.2 Viscosidad Saybolt Universal a 25°C

La viscosidad Saybolt Universal es el tiempo de flujo en segundos de 60 ml de mezcla que fluye a través de un orificio universal, calibrado bajo las condiciones especificadas.

Este método está descrito en el Manual de Carreteras 8.302.12 ASFALTOS: METODO SUPERPAVE PARA DETERMINAR LA VISCOSIDAD SAYBOLT (LNV 39).

Procedimiento de ensayo:

- Si la temperatura de ensaye está por encima de la de la sala, el ensaye puede acelerarse por precalentamiento de la muestra a no más que $1,6^{\circ}\text{C}$ por sobre la temperatura de ensaye.
- Se inserta un tapón de corcho que tenga un cordel unido para quitarlo con facilidad, dentro de la cámara de aire; en el fondo del viscosímetro. El corcho debe encajar estrechamente, lo suficiente para prevenirle escape de aire.
- Se filtra la muestra preparada a través de una malla de $0,160\text{ mm}$ tamizando directamente dentro del viscosímetro hasta el nivel que está sobre el borde de derrame.
- Se revuelve la mezcla hasta que la temperatura permanezca dentro de $0,1^{\circ}\text{C}$ de la temperatura de ensaye, revolviendo continuamente durante 1 minuto. Se revuelve con el termómetro del viscosímetro puesto en un soporte, en un movimiento circular entre 30 a 50 rpm en el plano horizontal.
- Se retira cuidadosamente el termómetro de la muestra.
- Se coloca el frasco receptor. La marca de graduación se encontrará entre 100 a 130 mm debajo del tubo del viscosímetro.
- Se suelta el corcho del viscosímetro usando el cordel; al mismo tiempo se echa a andar el cronómetro.
- Se para el cronómetro en el instante en que la parte inferior del menisco llega a la marca de graduación.
- Se registra el tiempo.



Figura 7 Viscosímetro Saybolt

3.6.2.3 Residuo por evaporación

Este método está descrito en el Manual de Carreteras 8.302.5 ASFALTOS: METODO DE ENSAYE PARA EMULSIONES.

Este ensayo permite verificar que el porcentaje de participación del asfalto en la emulsión descrito en la formulación, sea el correcto. Permite conocer la cantidad de asfalto que existirá después del quiebre de la emulsión.

Procedimiento de ensayo:

- Se pesa exactamente $200 \pm 0,1$ g de una muestra representativa de emulsión, se pesa previamente el evaporador (recipiente metálico que contendrá a la muestra).

- Se aplica calor al recipiente; la temperatura debe ser mayor a 100°C para asegurar la evaporación efectiva del contenido de agua.
- Se deja de aplicar calor, una vez que se ha alcanzado una masa constante.
- Se registra el peso del contenido residual de asfalto y se calcula el porcentaje de residuo.

3.6.3 Adherencia de la emulsión

Es necesario definir ensayos que permitan medir la adherencia de la emulsión con la capa a la cual se aplica el riego de liga o capa inferior, y medir la adherencia entre el riego y la capa siguiente de asfalto (capa o carpeta superior) y además medir la adherencia con los neumáticos del tráfico de obra, se definen los ensayos de adhesividad, de corte y de abrasión ensayos que se aplicará tanto a la emulsión seleccionada como termoadherente, así como a dos emulsiones tradicionales: SPRAMUL-ML y CSS-1H.

3.6.3.1 Adhesividad

Se define un ensayo de adhesividad, ensayo cuyo resultado es una directriz decisional, puesto que permite elegir, dentro de las alternativas de emulsión desarrolladas, la emulsión que cumple con las características de la emulsión termoadherente.

Este ensayo corresponde a un ensayo de arrancamiento o tracción directa, el cual indica el grado de adherencia que tiene el residuo del riego de liga luego del quiebre de la emulsión sobre una carpeta asfáltica. Mientras mayor sea el valor obtenido en este ensayo, mayor será la adherencia entre el asfalto residual y la carpeta asfáltica inferior, por lo que será mayor la dificultad en tratar de retirar el riego, aunque se trate de tráfico de obra.

El ensayo consiste en medir, por medio de un equipo medidor de pruebas de adherencia Elcometer, la adhesividad del riego de liga sobre una superficie dura, según los requerimientos del equipo. La superficie dura que funcionará como sustrato corresponde a testigos de hormigón H30.

Procedimiento:

- Se aplica sobre la probeta a ensayar, en este caso un cubo de hormigón H30 de lado 20 cm, un riego de emulsión correspondiente a una tasa de $0,5 \text{ kg/m}^2$.
- Se deja curar en horno a 60°C por 1 hora, para luego curar a temperatura de $22 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 horas.
- Luego del curado, se adhiere a la superficie con el asfalto residual, una sufridera metálica, mediante una resina epóxica, perteneciente al equipo medidor de pruebas de adherencia Elcometer.
- Se espera que la resina cure durante 1 hora.
- Se limpia la superficie de los residuos de resina epóxica que puedan sobrar, y se recorta el contorno de la sufridera (área de influencia del ensayo).
- Se inicia el arrancamiento, programando el equipo para registrar el vabr en la falla, en kg/cm^2 .
- Se registra el valor de adhesividad.



Figura 8 Equipo medidor de adhesividad

3.6.3.2 Corte

Para verificar que la adherencia conseguida con el riego de liga entre capas asfálticas, permite que éstas trabajen de manera solidaria, se realiza un ensayo de corte sobre probetas Marshall.

La resistencia al corte de las probetas unidas por el riego de liga, representa una medida de la adherencia entre capas o carpetas asfálticas.

Elaboración de las Probetas

- Las probetas se confeccionan utilizando un molde normalizado: debe tener un diámetro interior de $101,6 \pm 0,1$ mm y una altura de 80 mm, en el cual se deposita la mezcla, la que se compacta con 75 golpes por cada cara.
- Una vez que cura esta primera capa, considerando un tiempo de curado de 24 horas, se aplica el riego de adherencia, utilizando para ello una pistola de pintura, para simular el riego real que ocurre en terreno, aplicando una dotación de $0,5 \text{ kg/m}^2$ de emulsión y se espera a que ocurra el quiebre, para lo cual se espera por otras 24 horas, simulando las condiciones de trabajo en terreno.
- Entonces se coloca un collarín sobre el molde para depositar la segunda capa, de la mitad de altura que la primera, la que también se compacta con 75 golpes. El tiempo de curado de esta segunda capa también es de 24 horas.

Procedimiento:

- Se retira la probeta del molde.
- Se coloca la probeta al interior de una camisa metálica, que permite posicionar la probeta en el equipo de ensayo de corte. Se ubica la probeta con el eje axial perpendicular a la línea de carga, de manera que el esfuerzo

resultante de la carga queda contenido en el plano del riego, por lo que el esfuerzo corresponde a un esfuerzo de corte.

- Se marca la región a ensayar, la que corresponde a la zona de unión de dos probetas por medio del riego de adherencia.
- Se coloca un dial sobre la zona del riego, para medir la deformación.
- Se nivela el sistema.
- Se coloca la carga muy próxima a la zona de falla.
- Se inicia la carga de la probeta.
- Se registra cada 10 segundos deformación y carga, hasta que ocurra la falla.



Figura 9 Ensayo de corte

3.6.3.3 *Abrasión*

Se define un ensayo de abrasión, el que mide tanto la adherencia del asfalto residual que se obtiene luego del quiebre de la emulsión sobre la carpeta asfáltica a la que se aplica el riego (carpeta inferior), como la adherencia entre el riego y los neumáticos del tráfico existente en obra.

El ensayo definido, utiliza el equipo de abrasión empleado en el ensayo de abrasión en medio húmedo para lechadas asfálticas (8.302.46 presente en el volumen 8 del manual de carreteras). El rodillo de goma del equipo de abrasión, simula el paso de los neumáticos sobre el riego. De esta manera, si luego de someter a la abrasión una probeta de slurry a la que se le ha aplicado un riego de liga, la pérdida del riego es baja, esto significa que la adherencia del riego a la carpeta asfáltica inferior es alta, mientras que la adherencia a los neumáticos es baja.

La magnitud del desgaste es inversamente proporcional a la adherencia de la emulsión con la carpeta asfáltica inferior y directamente proporcional a la adherencia neumática.

El equipo a utilizar corresponde a una máquina de abrasión (o revoladora mecánica planetaria), la que equipada de un motor, es capaz de hacer girar, mediante un sistema planetario, un eje vertical con un doble movimiento circular de rotación y circular de traslación. En el extremo inferior del eje va montado el cabezal de abrasión que roza directamente la probeta. La velocidad de rotación del cabezal de abrasión es de 144 rpm. El peso del conjunto, soporte más goma de abrasión, es de 2270 gramos.

La goma de abrasión es fabricada con una cubierta de doble tela para una presión de 25 atm, y una dureza de 80 grados Shore. Debe tener un diámetro externo de $31 \pm 0,5$ mm, un diámetro interno de $19 \pm 0,5$ mm y una longitud de 127 ± 1 mm.

Las probetas de slurry tienen un diámetro aproximado de 279 ± 1 mm.

Procedimiento:

- Se pesa la probeta a ensayar y se registra el valor.
- Se coloca las probetas en baño de agua a 25°C por una hora.
- Luego se coloca en el aparato de abrasión la probeta de slurry confeccionada según lo expresa el Manual de carreteras sección 8.302.46, se cubre con agua a 25°C completamente.

Capítulo 3 PLANTEAMIENTO DEL DESARROLLO Y PROGRAMA DE ENSAYOS

- Se apoya el cabezal sobre la probeta, firmemente.
- Se coloca a andar la máquina de abrasión por 5 minutos.
- Terminado el tiempo, se retira la probeta y se pone a secar en horno a 60°C hasta alcanzar masa constante.
- Se pesa la probeta y se registra su masa, luego del ensaye de abrasión.
- Se determina la pérdida de masa por desgaste.



Figura 10 Ensaye de abrasión

Capítulo 4

DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL

4.1 Introducción

La etapa experimental considera la selección y preparación de los materiales, la confección de probetas y su posterior ensayo y el registro de los resultados de estos ensayos.

4.2 Materiales

Los materiales empleados en los ensayos se encuentran disponibles en el mercado, y corresponden a los más utilizados en el desarrollo de emulsiones. A continuación se detallan los asfaltos, el aditivo y los emulsificantes utilizados.

4.2.1 Asfaltos

Para el desarrollo de emulsiones asfálticas se considera la utilización de tres tipos de cementos asfálticos como bases asfálticas: CA14, CA24 y CA60-80.

4.2.1.1 CA-14

El cemento asfáltico CA-14 corresponde a una de las bases asfálticas consideradas en el desarrollo de emulsiones. Su temperatura de mezclado es de 152 °C y su temperatura de compactación es de 142 °C. El punto de ablandamiento es de 51°C. Mayores detalles se encuentran en la ficha técnica de este producto, que se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 5 Cemento asfáltico CA-14

Ensayes	Método de Ensaye NCh	Bitumen CA 14	
		Mín.	Máx.
- Viscosidad Absoluta a 60 °C, 300 mm Hg (P)	2336-98	1400	2400
- Ductilidad a 25°C, 5cm/min., (cm)	2342-99	100	
- Ensaye de la mancha con Hep./Xil., (%Xilol)	2343-99		30
- Punto de inflamación, COC (°C)	2338-98	232	
- Punto de Ablandamiento, (°C)	2337-98	Informar	
- Índice de Penetración (-)	MC 8.302.18	-1,5	+1,0
- Ensaye de Película Delgada Rotatoria			
Pérdida por calentamiento, (%)	2346-99		0,8
- Viscosidad Absoluta a 60 °C, 300 mm Hg (P)	2336-98	Informar	
- Ductilidad a 25°C, 5cm/min., (cm)	2342-99	100	
- Índice de Durabilidad (-)	2336-98		3,5

Nota: El valor *informar* indica que no existe un rango de valores para la especificación

4.2.1.2 CA-24

El cemento asfáltico CA-24 presenta una temperatura de mezclado de 158 °C y una temperatura de compactación de 148 °C. El punto de ablandamiento es de 51°C La ficha técnica de este producto se detalla en la tabla siguiente:

Tabla 6 Cemento asfáltico CA-24

Ensayes	Método de Ensaye NCh	Bitumen CA 24	
		Mín.	Máx.
- Viscosidad Absoluta a 60 °C, 300 mm Hg (P)	2336-98	2400	
- Ductilidad a 25°C, 5cm/min., (cm)	2342-99	100	
- Ensaye de la mancha con Hep./Xil., (%Xilol)	2343-99		30
- Punto de inflamación, COC (°C)	2338-98	232	
- Punto de Ablandamiento, (°C)	2337-98	Informar	
- Índice de Penetración (-)	MC 8.302.18	-1,5	+1,0
- Ensaye de Película Delgada Rotatoria			
Pérdida por calentamiento, (%)	2346-99		0,8
- Viscosidad Absoluta a 60 °C, 300 mm Hg (P)	2336-98	Informar	
- Ductilidad a 25°C, 5cm/min., (cm)	2342-99	100	
- Índice de Durabilidad (-)	2336-98		3,5

Nota: El valor *informar* indica que no existe un rango de valores para la especificación

4.2.1.3 CA60-80

El cemento asfáltico CA 60-80 presenta una temperatura de mezclado de 156 °C y una temperatura de compactación de 147 °C. El punto de ablandamiento es de 50°C. La información restante se encuentra en la ficha técnica de este producto, presente en la tabla siguiente:

Tabla 7 Cemento asfáltico CA-24

Ensayes		Método de Ensaye	Bitumen CA 60-80	
		NCh	Mín.	Máx.
- Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	(0.1mm)	2340-99	60	70
- Punto de Ablandamiento,	(°C)	2337-98	Informar	
- Ductilidad a 25°C, 5cm/min.,	(cm)	2342-99	100	
- Punto de inflamación, COC	(°C)	2338-98	232	
- Solubilidad en Tricloroetileno,	(%)	2341-99	99	
- Ensaye de la mancha con Hep./Xil.,	(%Xilol)	2343-99		20
- Viscosidad Absoluta a 60 °C	(P)	2336-98	Informar	
- Viscosidad Cinemática a 135 °C	(P)	2335-98	Informar	
- Índice de Penetración	(-)	MC 8.302.18	-1,0	+1,0
- Ensaye de Película Delgada Rotatoria		2346-99		
Pérdida por calentamiento,	(%)	2346-99		0,8
Penetración de residuo,	(% del original)	2340-99	54	
Ductilidad del residuo a 25°C,	(cm)	2342-99	100	
- Viscosidad Absoluta a 60 °C	(P)	2336-98	Informar	
- Índice de Durabilidad	(-)	2336-98		3,5

Nota: El valor *informar* indica que no existe un rango de valores para la especificación

4.2.2 Aditivo

Los cementos considerados para el estudio, serán modificados por medio de la incorporación de un aditivo. Es necesario efectuar el desarrollo con asfaltos modificados, puesto que se requiere de un betún duro luego del quiebre de la emulsión. El modificador altera propiedades del asfalto tales como la penetración, el punto de ablandamiento y la viscosidad. El aditivo seleccionado para la modificación es el Licomont BS-100.

4.2.2.1 *Licomont BS-100*

El producto Licomont BS-100 fue adicionado a los cementos asfálticos en una concentración de 1%, 2% y 3% en relación al peso de base asfáltica, según recomienda el fabricante.

La adición de Licomont BS-100 a los asfaltos se efectuó a una temperatura de 180°C, empleando para la incorporación un agitador mecánico con aspas de paleta. El tiempo requerido para la operación es de 60 minutos.



Figura 11 Licomont BS-100 en polvo

Al término de la incorporación del aditivo, se obtiene un asfalto modificado cuya apariencia es más opaca en relación al betún original, y con la presencia de una película de aspecto resquebrajado.

4.2.3 *Emulsificante*

La correcta elección de los emulsificantes o emulgadores permite maximizar la estabilidad de las emulsiones, con lo que se logra reducir al mínimo la tensión interfacial entre las fases dispersa y continua. Por este motivo, el emulsificante es esencial para la obtención de una emulsión asfáltica.

4.2.4 Agua

El agua representa uno de los componentes indispensables en la obtención de emulsiones asfálticas. El agua utilizada en el estudio es agua potable, la que debe emplearse a la temperatura adecuada para ayudar al proceso de emulsificación.

4.2.5 Ácido Clorhídrico (HCl)

La adición de un pequeño porcentaje de ácido clorhídrico permite efectuar los ajustes de pH de la solución compuesta por el agua y el emulsificante de la emulsión que se desarrolla, preservando el carácter catiónico de la misma.

4.3 Preparación de asfaltos modificados

La preparación de asfaltos modificados consiste en añadir a los asfaltos que se utilizarán en el estudio, una concentración de 1%, 2% y 3% en relación al peso total de la base asfáltica. Esta incorporación se efectúa cuando el asfalto se encuentra a una temperatura de 180°C.

El procedimiento empleado se detalla a continuación:

- Se coloca una cantidad cercana a medio galón de cemento asfáltico en un galón metálico y se registra el peso neto de contenido de asfalto.
- Se calienta el cemento asfáltico hasta una temperatura cercana a los 180°C.
- Se pesa una cantidad de Licomont BS-100 correspondiente al porcentaje requerido según sea el caso (esto es un 1%, 2% y 3% en relación al peso).
- Se agita el cemento asfáltico por cerca de 5 minutos, empleando una revolvedora mecánica de aspas de paleta, a una velocidad de giro de 200 rpm.
- Se adiciona el porcentaje requerido de Licomont BS-100, incorporando el aditivo de forma controlada y a una tasa constante, empleando para ello la revolvedora mecánica.

- Se efectúa el mezclado durante 60 minutos, cuando se obtiene un producto homogéneo.

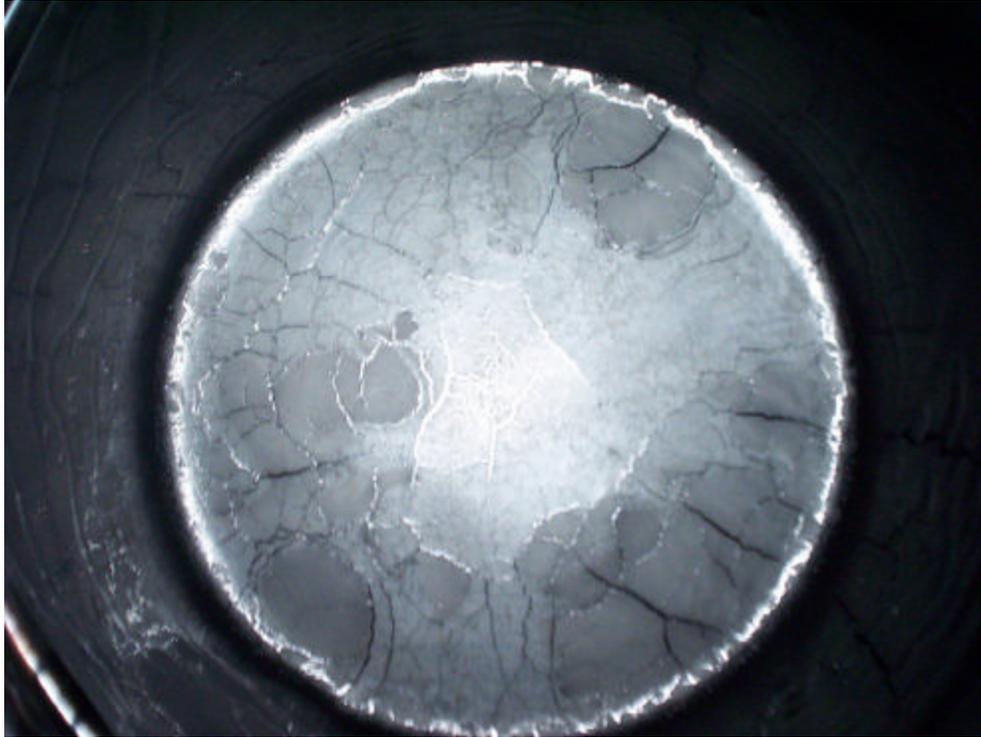


Figura 12 Asfalto modificado con Licomont BS-100



Figura 13 Revolvedora mecánica

4.4 Preparación de emulsiones

La preparación de las emulsiones se efectúa a partir de las formulaciones planteadas. El criterio de selección es el siguiente:

Se selecciona para un tipo de asfalto la formulación que presenta el menor contenido de Licomont BS-100, esto es, un 1%. Si luego de terminado el proceso de emulsificación, el producto obtenido no corresponde a una emulsión, se descarta la formulación empleada y sus similares, es decir iguales componentes, pero con participación de Licomont BS-100 en la base asfáltica de 2% y 3%. En caso contrario, si el producto obtenido es emulsión, se procede a desarrollar la misma formulación pero con la base asfáltica de un 3% de Licomont BS-100. Si esta formulación es exitosa, se deduce por continuidad, que la formulación de 2% de Licomont BS-100 también es factible.

El procedimiento de preparación se detalla a continuación:

- Se selecciona la formulación a preparar.
- Se programan los flujos de asfalto y de agua en el tablero del equipo denominado planta piloto o molino coloidal, verificando que los flujos se encuentran en la misma proporción que existe entre el porcentaje de asfalto modificado y solución acuosa tienen en la emulsión asfáltica formulada.
- Se coloca el asfalto modificado a calentar hasta la temperatura de trabajo dada por la curva de viscosidad.
- Se prepara la solución compuesta por agua, emulsificante y ácido clorhídrico, procurando la disolución total del emulsificante en el agua, hasta obtener una solución homogénea. Se debe mantener la solución a la temperatura de trabajo establecida por la formulación.
- Se verifica que el pH de la solución se encuentre dentro del rango exigido por la formulación (entre pH=1 a pH=1,5). Si no se encuentra en el rango se deben hacer las correcciones necesarias que permitan entrar en la banda de aceptación.

- Se enciende la planta piloto y se debe iniciar el calentamiento de la línea de asfalto.
- Una vez que el asfalto modificado alcanza la temperatura de trabajo, se deposita en el estanque correspondiente al asfalto de la planta piloto y se enciende el calentador del estanque, para que la temperatura no baje.
- Se deposita la solución acuosa en el estanque correspondiente a la solución acuosa en la planta piloto, y se enciende el calentador del estanque, para que la temperatura de la solución no baje.
- Se inicia la circulación de asfalto modificado por la línea de asfalto.
- Se inicia la circulación de la solución acuosa por la línea correspondiente al agua.
- Una vez que los flujos programados al inicio del proceso han sido alcanzados (situación que se revisa directamente en el tablero de la planta piloto), se enciende el molino coloidal.
- Se dirige la circulación de la solución acuosa al molino.
- Se dirige la circulación del asfalto modificado al molino, verificando que los flujos no se desestabilicen.
- Cuando los flujos se estabilizan en los valores de flujo programados, se comienza la extracción de la emulsión.
- Si el producto obtenido se puede considerar emulsión por simple inspección visual, se procede a decepcionar la emulsión; en caso contrario se aborta la extracción y se considera fallida la formulación.
- Se registra la temperatura de extracción de la emulsión.

4.5 Mezcla asfáltica para probetas de ensayo de corte

Para la confección de las probetas del ensayo de corte, se utiliza una mezcla asfáltica IV-12 (densa) según el Manual de Carreteras Vol.5, sección 5.408 empleada comúnmente en obra.

Las probetas se confeccionan con un 5,7% de cemento asfáltico CA24-Shell según el diseño Marshall obtenido.

Las probetas se utilizan para comparar los valores de resistencia última al corte que se obtiene, al ensayar al corte dos probetas unidas mediante riego de liga.

Tabla 8 Diseño Óptimo de Asfalto

Diseño Optimo de Asfalto		
Bitumen CA 24	[% C/r ag.]	5,7 ± 0,3
Densidad Marshall	[kg/m ³]	2.395
Temperatura de Compactación	[°C]	144
Temperatura de Mezclado	[°C]	154 ± 3

Tabla 9 Granulometría de las probetas

Material	Porcentaje Participación	Masa [gr]
3/4"	22%	242
1/2"	26%	286
P.Roca	52%	572
Total	100%	1100

Tabla 10 Granulometría de las probetas

Tamiz	% Pasa	% Retenido	Probeta Marshall	
			1100 [gr]	550 [gr]
1"	100	0	0	0
3/4"	100	0	0	0
1/2"	87	13	143	72
3/8"	78	9	99	49
N° 4	53	25	275	138
N° 8	38	15	165	82
Bajo 8			418	209
Total			1100	550

4.6 Slurry

Para efectuar el ensaye de abrasión, es necesario contar con probetas fabricadas en base a slurry. Estas probetas se utilizan para comparar los valores de resistencia a la abrasión que se obtiene para diferentes riegos de liga. Se trabajó con carpetas de slurry donde el árido corresponde a polvo de roca de la Planta Agreep - Con Con, y la emulsión empleada corresponde a un Spramul-CQS-1H. Las características del slurry utilizado se presentan a continuación:

Tabla 11 Banda de trabajo

TAMIZ		Porcentaje que pasa en peso [%]	
ASTM	mm		
3/8"	10	100	
N°4	5	85	95
N°8	2,5	56	66
N°16	1,25	34	44
N°30	0,63	20	30
N°50	0,315	14	22
N°100	0,16	9	15
N°200	0,08	7	11

Tabla 12 Dosis recomendada para mezcla

Contenido de emulsión	[%]	11,3 ± 0,5	(referido al peso de árido seco)
Agua de Premezclado	[%]	10,3 ± 2,0	(referido al peso de árido seco)
Residuo Asfáltico	[%]	7,5	(referido al peso de árido seco)

4.7 Resultados

4.7.1 Caracterización de las bases asfálticas

Se caracterizaron las principales propiedades del asfalto modificado.

4.7.1.1 Penetración a 25°C

Se presenta los resultados correspondientes al ensaye de Penetración a 25°C, obtenidos según el procedimiento indicado en la Norma Chilena NCh2340.

Tabla 13 Ensayo de Penetración

Tipo Asfalto	% Licomont	Penetración [1/10 mm]
CA 60-80	0	63
	1	42
	2	41
	3	38
CA-24	0	42
	1	40
	2	37
	3	35
CA-14	0	43
	1	41
	2	40
	3	40

Se puede apreciar los valores en el gráfico correspondiente a los valores obtenidos. Se incluye además el valor obtenido para el cemento asfáltico sin modificador (0% de Licomont).

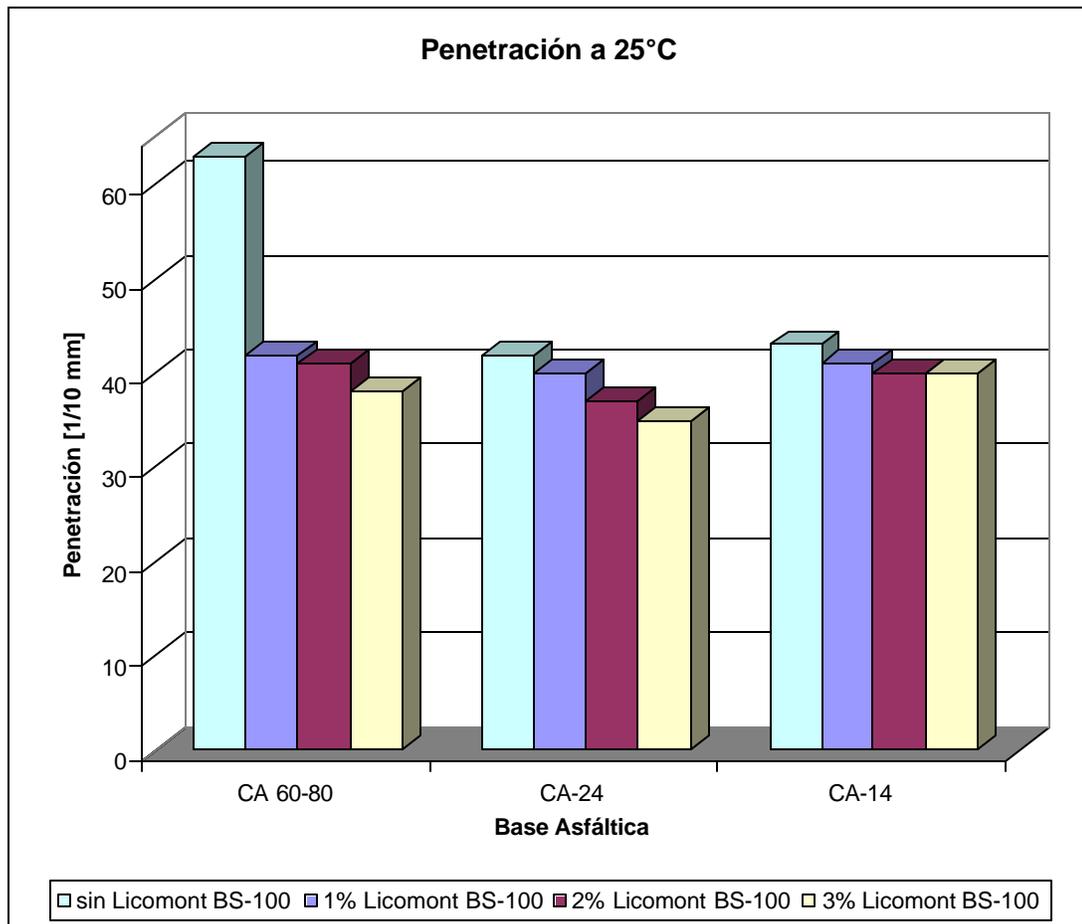


Figura 14 Ensayo de Penetración

4.7.1.2 Punto de Ablandamiento

Los resultados correspondientes al ensaye de punto de ablandamiento, efectuados según las especificaciones de la norma NCh 2337Of 98, son los siguientes:

Tabla 14 Puntos de Ablandamiento para Asfaltos Modificados

Tipo Asfalto	% Licomont	Ablandamiento
		[°C]
CA 60-80	0	50
	1	55
	2	87
	3	98
CA-24	0	51
	1	58
	2	66
	3	95
CA-14	0	51
	1	57
	2	58
	3	97

Se presenta el gráfico correspondiente a los valores obtenidos:

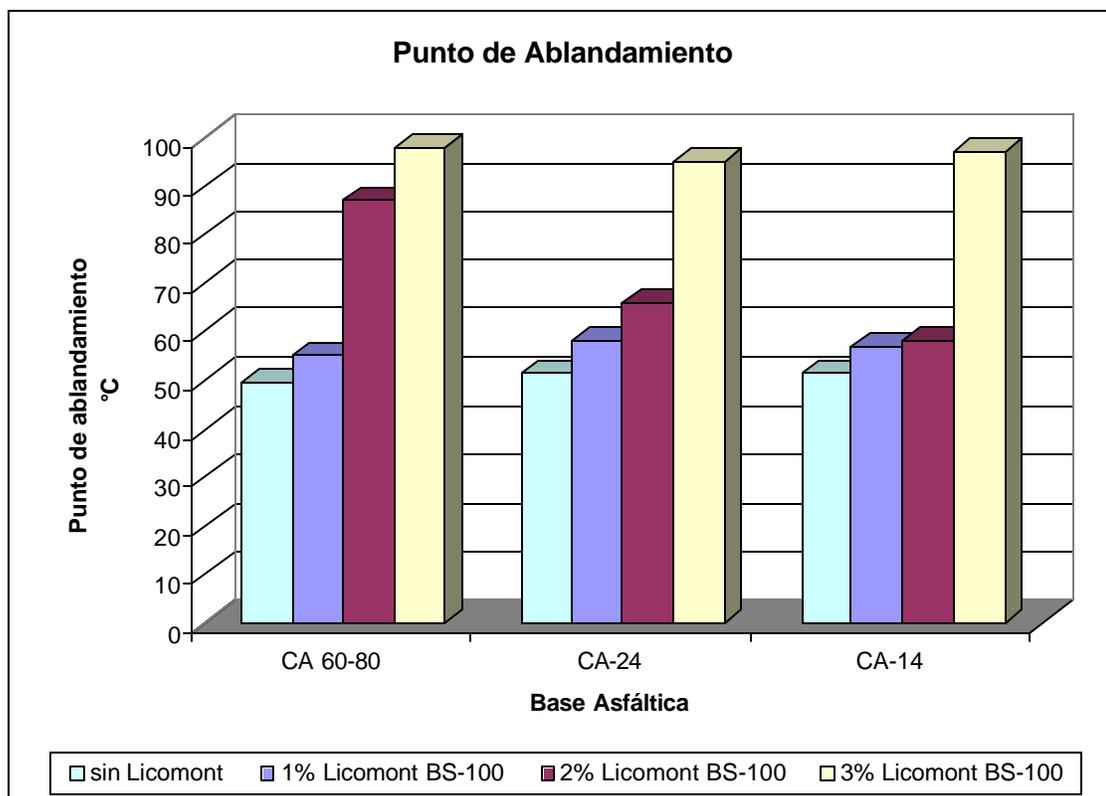


Figura 15 Ensaye de Punto de Ablandamiento

4.7.1.3 Índice de Penetración

El valor del índice de penetración, para las bases asfálticas es el siguiente:

Tabla 15 Índice de Penetración de asfaltos no modificados

Tipo Asfalto	% Licomont	Índice de Penetración IP
CA 60-80	0	-0,76
	1	-0,43
	2	4,70
	3	5,74
CA-24	0	-1,29
	1	0,09
	2	1,41
	3	5,22
CA-14	0	-1,24
	1	-0,06
	2	0,09
	3	5,76

Se presenta el gráfico correspondiente a los valores obtenidos:

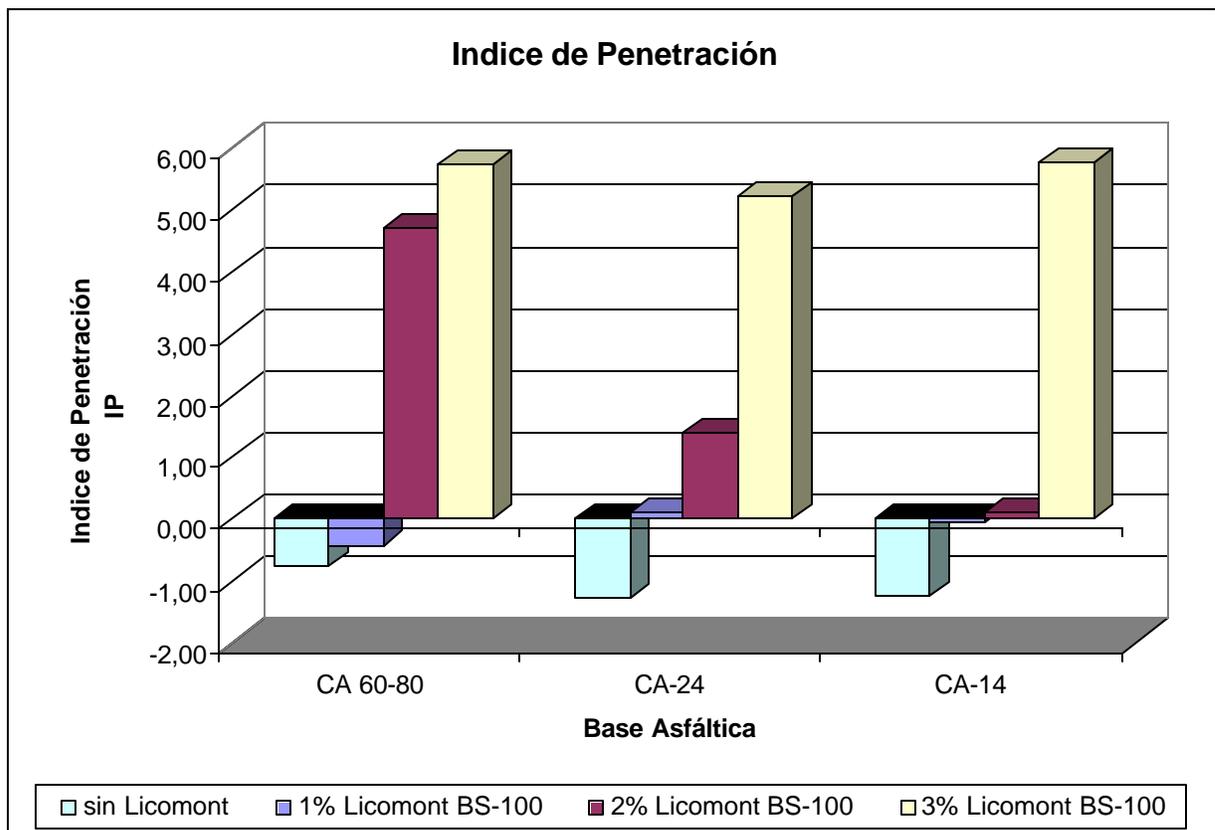


Figura 16 Índice de Penetración

4.7.1.4 Viscosidad Brookfield

Se obtuvo el valor de la viscosidad de los asfaltos empleados mediante el equipo denominado viscosímetro Brookfield, usando en la medición el husillo N°21(spindle N°21).

Las viscosidades Brookfield obtenidas para cada asfalto utilizado son las siguientes:

Tabla 16 Viscosidad Brookfield Base Asfáltica CA 60-80

Contenido Licomont BS100	CA 60-80 Sin modificar	Asfalto CA 60-80 modificado		
		1%	2%	3%
Temperatura [°C]		Viscosidad [cP]	Viscosidad [cP]	Viscosidad [cP]
120	1115	915	810	765
130	649	524	468	447
140	387	320	288	283
150	237	209	186	185
T° Mezclado [°]	156	154	151	151
T° Compactación[°]	147	143	141	141

Graficando el logaritmo de los valores de viscosidad versus temperatura, se obtiene la curva de viscosidad del asfalto CA-60-80 para cada porcentaje de modificación:

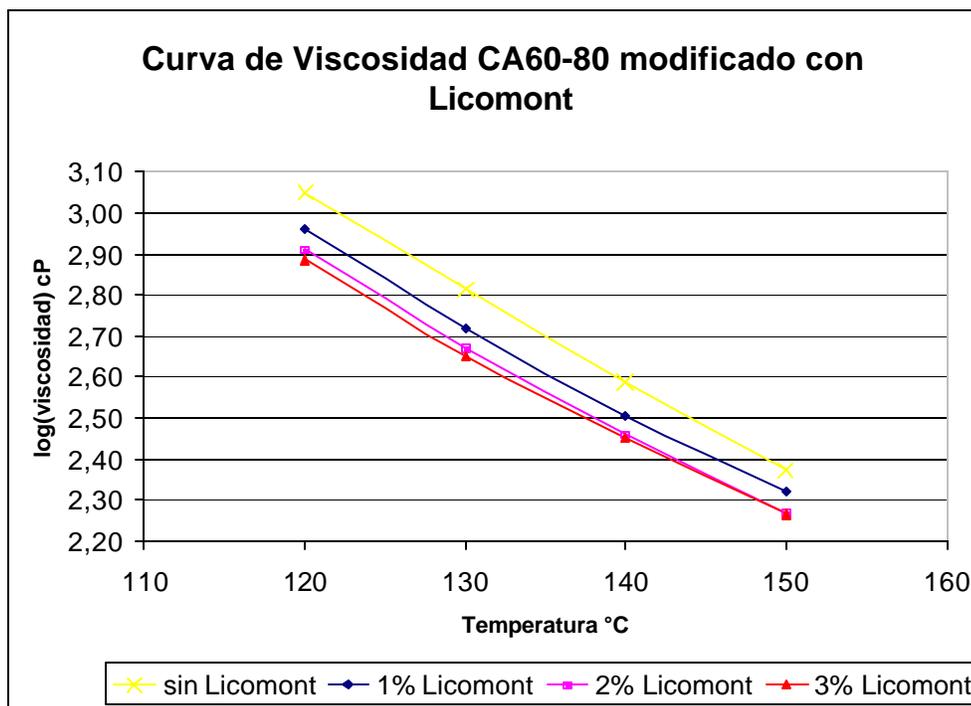


Figura 17 Viscosidad Brookfield Base asfáltica CA60-80

Para la base asfáltica CA-24 se tiene:

Tabla 17 Viscosidad Brookfield Base asfáltica CA-24

Contenido Licomont BS100	CA-24 Sin modificar	Asfalto CA - 24 modificado		
		1%	2%	3%
Temperatura [°C]		Viscosidad [cP]	Viscosidad [cP]	Viscosidad [cP]
120	1450	1405	1399	782
130	742	726	758	451
140	460	447	440	277
150	286	277	272	180
T° Mezclado [°]	159	158	158	151
T° Compactación[°]	150	149	149	140

Graficando el logaritmo de los valores de viscosidad versus temperatura, se obtiene la curva de viscosidad del asfalto CA-24 para cada porcentaje de modificación:

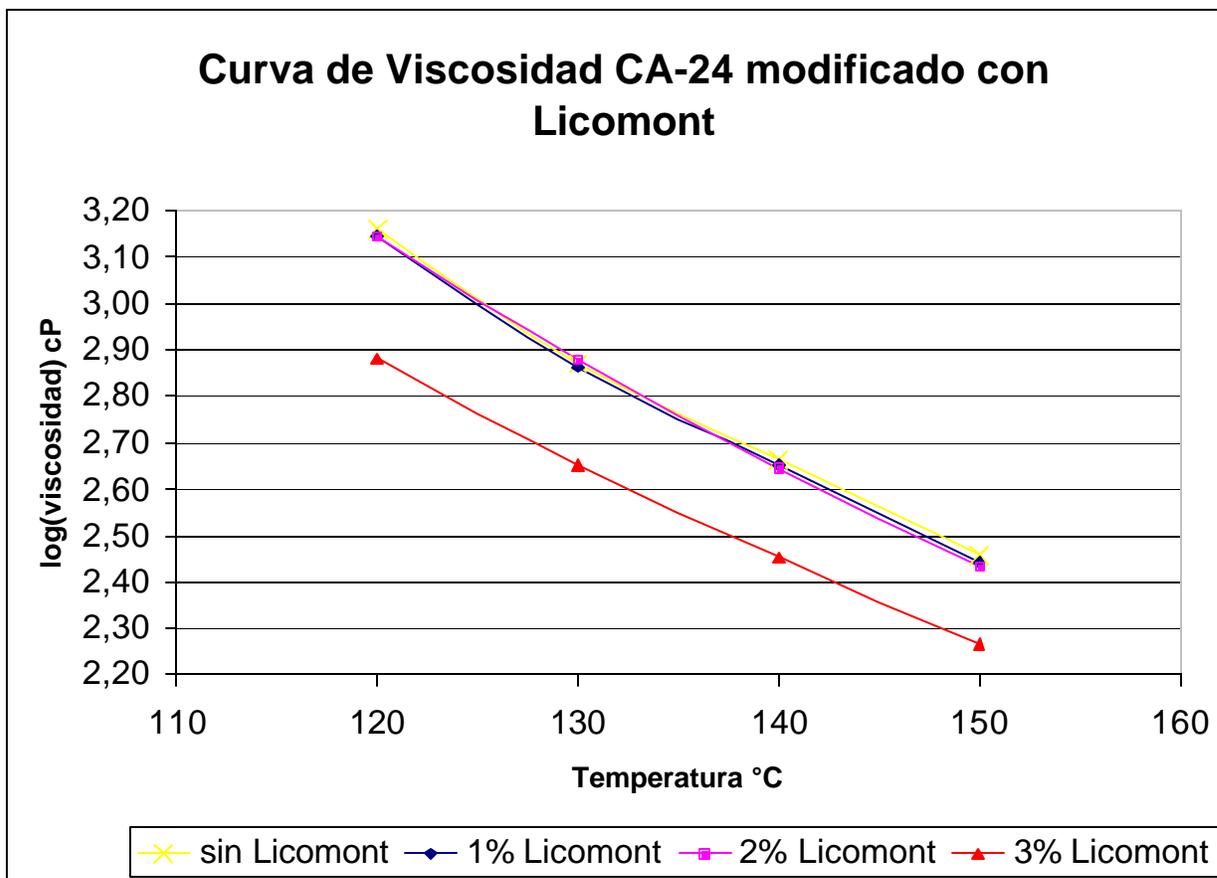


Figura 18 Curva de Viscosidad Base asfáltica CA-24

Las viscosidades de los asfaltos CA-14 son las siguientes:

Tabla 18 Viscosidad Brookfield Base asfáltica CA-14

Contenido Licomont BS100	CA-14 Sin modificar	Asfalto CA - 14 modificado		
		1%	2%	3%
Temperatura [°C]		Viscosidad [cP]	Viscosidad [cP]	Viscosidad [cP]
120	870	835	808	617
130	518	475	460	365
140	314	294	289	228
150	194	187	189	152
T° Mezclado [°]	152	151	152	147
T° Compactación[°]	142	141	141	136

Graficando el logaritmo de los valores de viscosidad versus temperatura, se obtiene la curva de viscosidad del asfalto CA-14 para cada porcentaje de modificación:

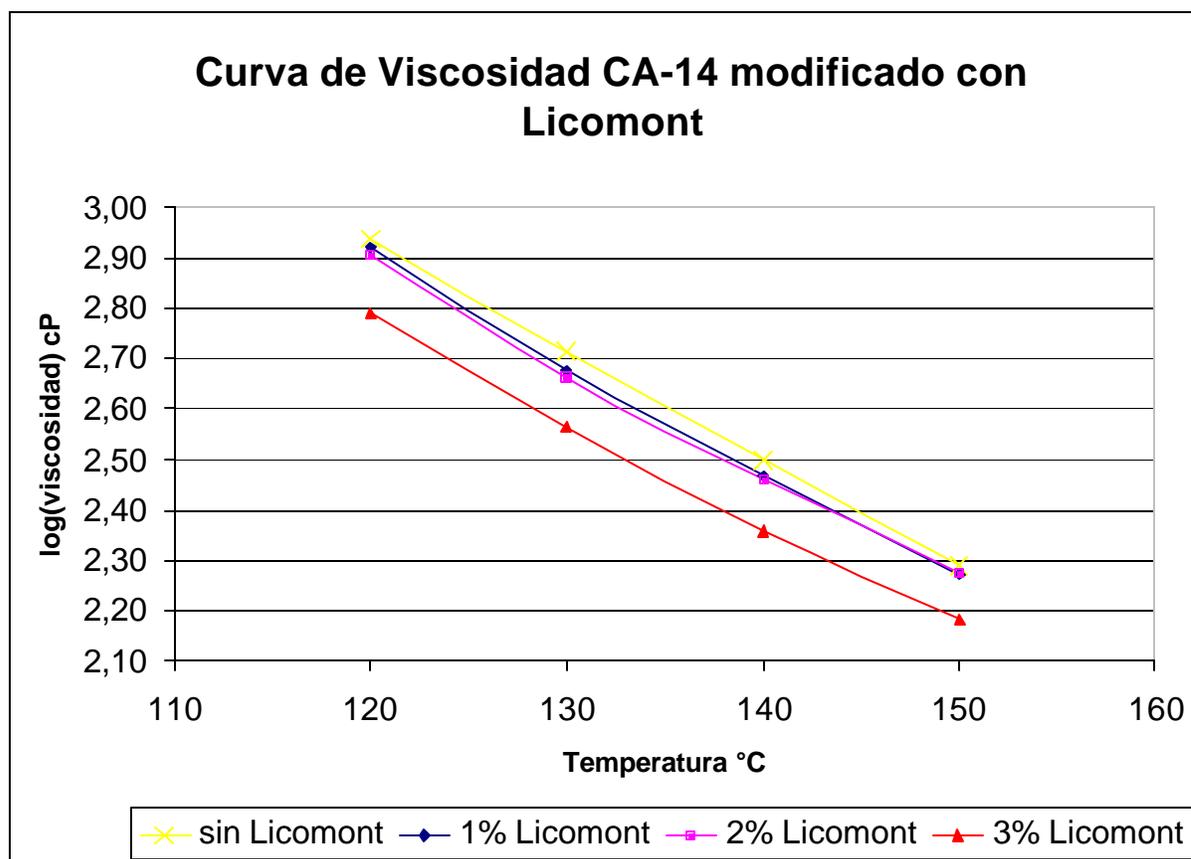


Figura 19 Curva de Viscosidad Base asfáltica CA-14

4.7.2 Resultado de las alternativas de emulsión formuladas

El equipo utilizado en la obtención de las emulsiones formuladas corresponde a un molino coloidal o planta piloto, equipo que hace posible el proceso de emulsificación.

Para obtener emulsión, es necesario programar las temperaturas de trabajo del asfalto y del agua, así como controlar los flujos, los que están en la misma proporción que existe entre los porcentajes de participación en la emulsión.

Se presenta el resultado obtenido a partir de las formulaciones planteadas. El criterio de calificación del resultado obtenido es el siguiente:

- Por inspección visual se califica el resultado del proceso de emulsificación.
- Si visualmente el resultado es fluido, homogéneo y además el contenido de asfalto se percibe al olfato, entonces se considera emulsión en potencia. En caso contrario se rechaza.
- Si el resultado del proceso de emulsión aprobó la inspección visual, se deja reposar por 24 horas, para realizar los ensayos de estabilidad de la emulsión, lo que se denomina caracterización de la emulsión. En virtud de estos resultados, se puede considerar que la alternativa evaluada es aceptable para proseguir con los ensayos, o simplemente se descarta la alternativa.

Para el desarrollo de emulsiones se utilizó dos emulsificantes: Emulsiv 196/95 e Indulin W-5 (CSS).

Las formulaciones que consideran la utilización del emulsificante Indulin W-5 (CSS) no produjeron emulsión, siendo todas rechazadas por inspección visual, puesto que ninguna de estas formulaciones logró emulsificar el asfalto con el agua.

Por otra parte, el emulsificante Emulsiv 196/95 logró emulsificar el asfalto con el agua, siendo aceptadas todas las emulsiones en cuya composición estaba considerado el Emulsiv 196/95 como emulsificante.

Las formulaciones aceptadas se presentan a continuación, con sus respectivas condiciones de trabajo:

Tabla 19 Emulsiones con Base Asfáltica CA-14

Componentes	% en Peso
CA14 + 1% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2
HCl	0,16
Agua	68,64
Total	100

Inspección Visual: Aprobada

Condiciones de trabajo		
	magnitud	unidades
Flujo Agua	70	lt/hr
Temperatura Agua	40	°C
Flujo Asfalto	30	lt/hr
Temperatura Asfalto	157	°C
Temperatura Emulsión	67	°C
pH Agua	1,5	

Componentes	% en Peso
CA14 + 2% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2
HCl	0,16
Agua	68,64
Total	100

Inspección Visual: Aprobada

Condiciones de trabajo		
	magnitud	unidades
Flujo Agua	67	lt/hr
Temperatura Agua	42	°C
Flujo Asfalto	29	lt/hr
Temperatura Asfalto	160	°C
Temperatura Emulsión	70	°C
pH Agua	1,2	

Componentes	% en Peso
CA-14 + 3% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2
HCl	0,16
Agua	68,64
Total	100

Inspección Visual: Aprobada

Condiciones de trabajo		
	magnitud	unidades
Flujo Agua	64	lt/hr
Temperatura Agua	39	°C
Flujo Asfalto	27	lt/hr
Temperatura Asfalto	156	°C
Temperatura Emulsión	70	°C
pH Agua	1,2	

Tabla 20 Emulsiones con Base Asfáltica CA-24

Componentes	% en Peso
CA-24 + 1% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2
HCl	0,16
Agua	68,64
Total	100

Inspección Visual: Aprobada

Condiciones de trabajo		
	magnitud	unidades
Flujo Agua	66	lt/hr
Temperatura Agua	42	°C
Flujo Asfalto	28	lt/hr
Temperatura Asfalto	153	°C
Temperatura Emulsión	45	°C
pH Agua	1,5	

Componentes	% en Peso
CA24 + 2% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2
HCl	0,16
Agua	68,64
Total	100

Inspección Visual: Aprobada

Condiciones de trabajo		
	magnitud	unidades
Flujo Agua	67	lt/hr
Temperatura Agua	42	°C
Flujo Asfalto	29	lt/hr
Temperatura Asfalto	155	°C
Temperatura Emulsión	66	°C
pH Agua	1,5	

Componentes	% en Peso
CA - 24 + 3% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2
HCl	0,16
Agua	68,64
Total	100

Inspección Visual: Aprobada

Condiciones de trabajo		
	magnitud	unidades
Flujo Agua	112	lt/hr
Temperatura Agua	35	°C
Flujo Asfalto	48	lt/hr
Temperatura Asfalto	156	°C
Temperatura Emulsión	61	°C
pH Agua	1,5	

Tabla 21 Emulsiones con Base Asfáltica CA 60-80

Componentes	% en Peso
60-80 + 1% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2
HCl	0,16
Agua	68,64
Total	100

Inspección Visual: Aprobada

Condiciones de trabajo		
	magnitud	unidades
Flujo Agua	65	lt/hr
Temperatura Agua	42	°C
Flujo Asfalto	28	lt/hr
Temperatura Asfalto	153	°C
Temperatura Emulsión	45	°C
pH Agua	1,5	

Componentes	% en Peso
60-80 + 2% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2
HCl	0,16
Agua	68,64
Total	100

Inspección Visual: Aprobada

Condiciones de trabajo		
	magnitud	unidades
Flujo Agua	60	lt/hr
Temperatura Agua	40	°C
Flujo Asfalto	26	lt/hr
Temperatura Asfalto	156	°C
Temperatura Emulsión	68	°C
pH Agua	1,48	

Componentes	% en Peso
60-80 + 3% Licomont	30
Emulsiv 196/95	1,2
HCl	0,16
Agua	68,64
Total	100

Inspección Visual: Aprobada

Condiciones de trabajo		
	magnitud	unidades
Flujo Agua	65	lt/hr
Temperatura Agua	40	°C
Flujo Asfalto	28	lt/hr
Temperatura Asfalto	160	°C
Temperatura Emulsión	68	°C
pH Agua	1,5	



Figura 20 Planta Piloto



Figura 21 Obtención de Emulsión

4.7.3 Caracterización de emulsiones asfálticas

La caracterización de acuerdo a la estabilidad de las emulsiones se presenta a continuación.

4.7.3.1 Tamizado

El ensaye de tamizado permite cuantificar las impurezas que pudiesen existir en la emulsión (pequeñas partículas sólidas, generalmente polvo o residuos de asfalto no emulsificados). Por ello da cuenta también de la estabilidad de la emulsión, puesto que mientras más pura sea ésta, mejor es el proceso de emulsificación que origina a la emulsión.

Los resultados del ensaye de tamizado son los siguientes:

Tabla 22 Tamizado

Tipo Asfalto	% Licomont BS-100	Emulsificante	Tamizado %
CA60-80	1	EMULSIV 196/95	0,01
	2	EMULSIV 196/95	0,09
	3	EMULSIV 196/95	0,06
CA-24	1	EMULSIV 196/95	0,01
	2	EMULSIV 196/95	0,01
	3	EMULSIV 196/95	0,10
CA-14	1	EMULSIV 196/95	0,20
	2	EMULSIV 196/95	0,01
	3	EMULSIV 196/95	0,01

El gráfico correspondiente a los valores obtenidos es el siguiente:

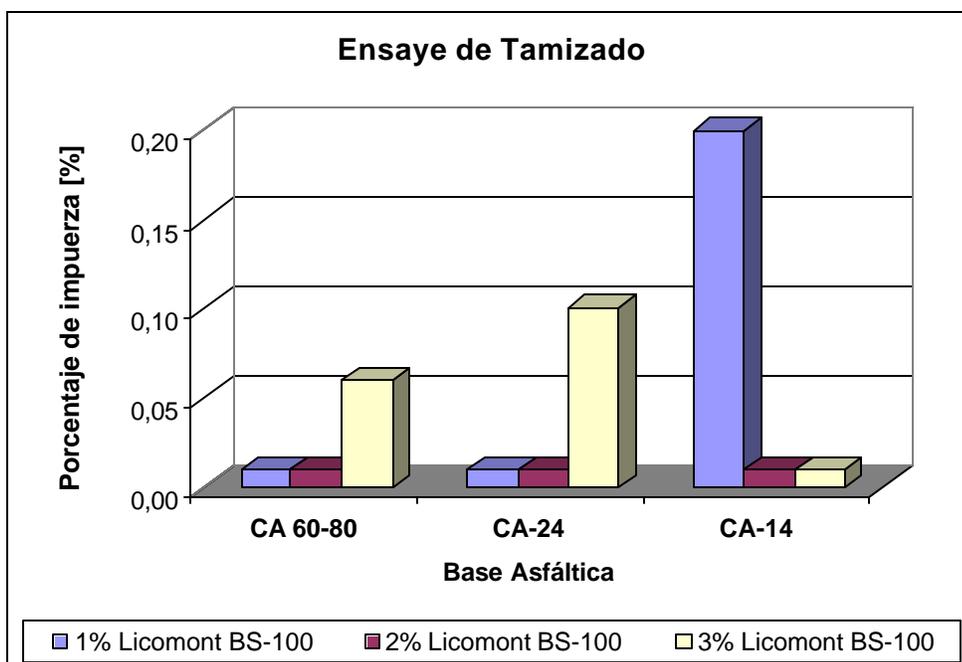


Figura 22 Tamizado

4.7.3.2 Viscosidad Saybolt Universal

Los resultados del ensaye de viscosidad Saybolt se encuentran en la tabla siguiente:

Tabla 23 Viscosidad Saybolt Universal

Tipo Asfalto	% Licomont BS-100	Emulsificante	Viscosidad Saybolt Universal [segundos]
CA60-80	1	EMULSIV 196/95	36
	2	EMULSIV 196/95	37
	3	EMULSIV 196/95	37
CA-24	1	EMULSIV 196/95	36
	2	EMULSIV 196/95	38
	3	EMULSIV 196/95	36
CA-14	1	EMULSIV 196/95	40
	2	EMULSIV 196/95	30
	3	EMULSIV 196/95	35

El gráfico correspondiente a los valores obtenidos es el siguiente:

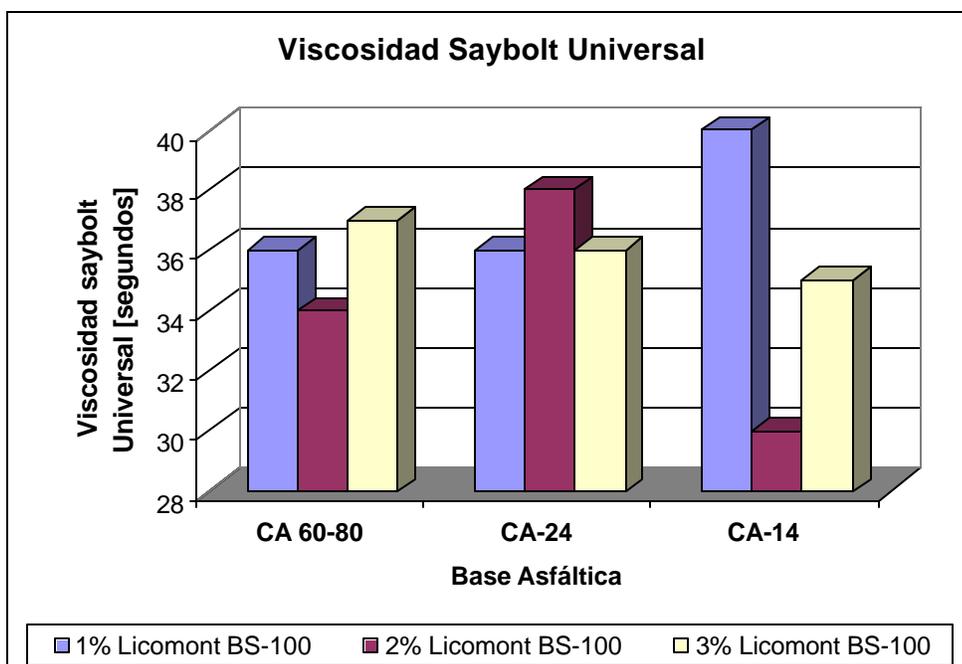


Figura 23 Viscosidad Saybolt Universal

4.7.3.3 Residuo por evaporación

El ensaye de residuo por evaporación es un indicador directo del contenido de asfalto de una emulsión. Permite comparar el porcentaje de participación presente en la formulación de la emulsión, con el porcentaje de participación real o efectivo.

Además da cuenta de la cantidad de asfalto que existirá después del quiebre de la emulsión.

A continuación se presentan los resultados del ensaye de Residuo por evaporación:

Tabla 24 residuo por Evaporación

Tipo Asfalto	% Licomont BS-100	Emulsificante	Residuo por Evapoarción
			%
CA 60-80	1	EMULSIV 196/95	28
	2	EMULSIV 196/95	20
	3	EMULSIV 196/95	25
CA-24	1	EMULSIV 196/95	27
	2	EMULSIV 196/95	26
	3	EMULSIV 196/95	26
CA-14	1	EMULSIV 196/95	27
	2	EMULSIV 196/95	30
	3	EMULSIV 196/95	26

El gráfico correspondiente a los valores obtenidos es el siguiente:

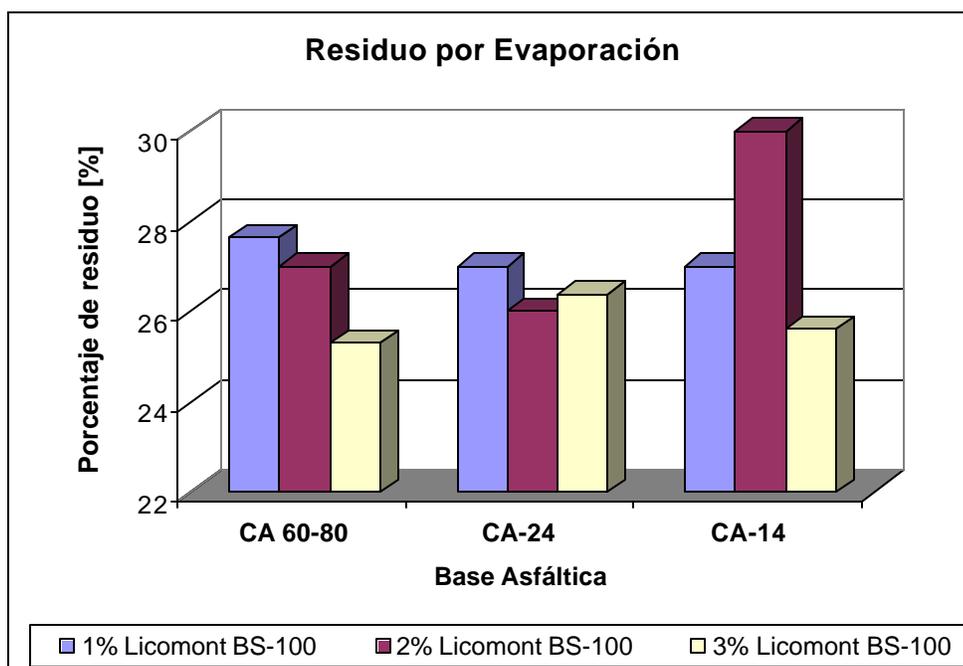


Figura 24 Residuo por Evaporación

4.7.4 Adherencia

A continuación se presentan los resultados correspondientes a los ensayos de adherencia.

4.7.4.1 Selección de la emulsión Termoadherente

Para elegir la mejor de las alternativas desarrolladas como emulsión termoadherente, se utiliza como criterio el resultado que se obtiene en el ensaye de adhesividad, junto con los resultados correspondientes a la estabilidad de emulsión (caracterización de emulsiones).

4.7.4.1.1 Adhesividad

El ensaye de adhesividad se lleva a cabo mediante la utilización de un equipo medido de adherencia hidráulico Elcometer 108.

Se efectúan 3 mediciones por cada emulsión. Los resultados obtenidos en el ensaye de adhesividad son los siguientes:

Tabla 25 Ensaye de Adhesividad

Asfalto	% Licomont	Emulsificante	Adherencia [kg/cm ²]			
			Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio
CA60-80	1%	EMULSIV 196/95	10,2	10,3	10,6	10,4
	2%	EMULSIV 196/95	13,6	11,5	12,6	12,6
	3%	EMULSIV 196/95	17,6	17,4	17,9	17,6
CA-24	1%	EMULSIV 196/95	10,4	10,2	10,1	10,2
	2%	EMULSIV 196/95	11,1	12,1	11,6	11,6
	3%	EMULSIV 196/95	11,9	12,4	12,8	12,4
CA-14	1%	EMULSIV 196/95	10,2	10,1	10,2	10,2
	2%	EMULSIV 196/95	10,6	11,1	10,9	10,9
	3%	EMULSIV 196/95	11,9	11,3	10,7	11,3
Formulación con Mayor Adhesividad (óptima):			CA 60-80 + 3% Licomont			

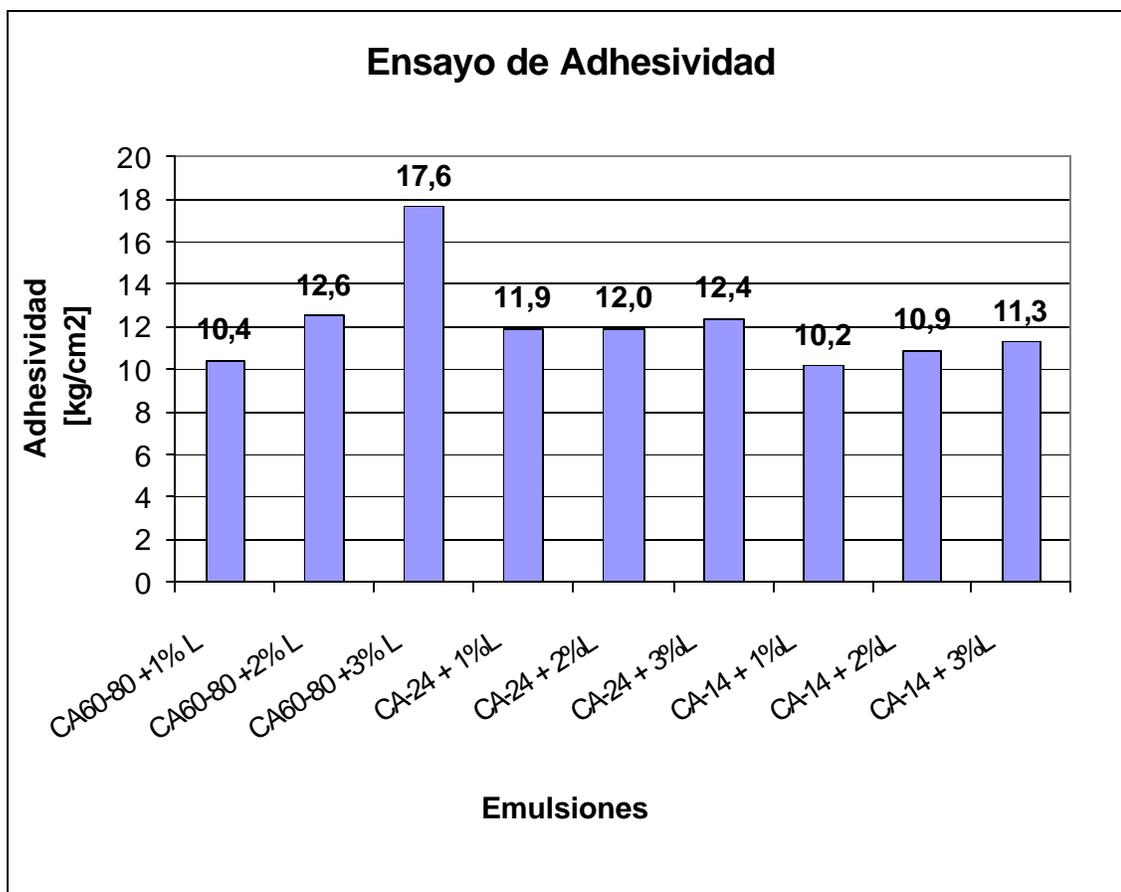


Figura 25 Ensayo de Adhesividad para el total de las emulsiones

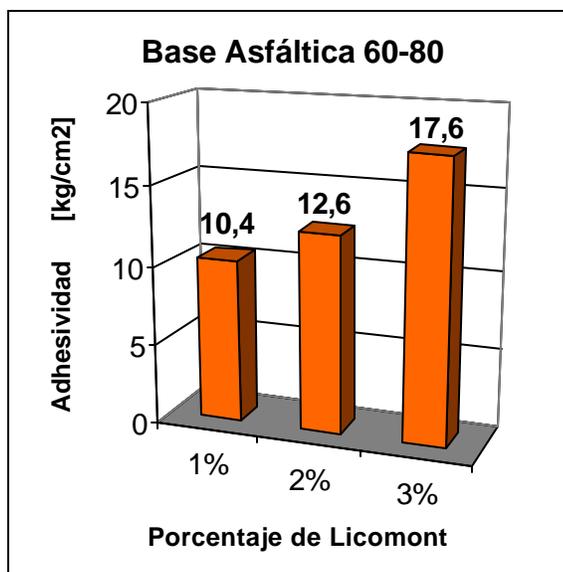


Figura 26 Ensayo de Adhesividad Base Asfáltica CA60-80

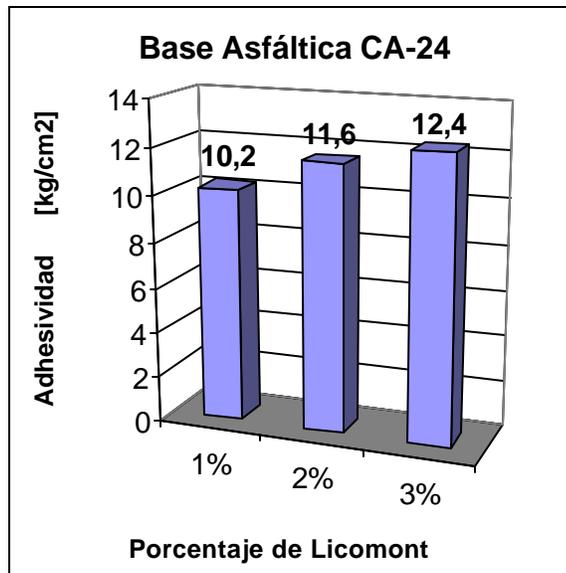


Figura 27 Ensaye de Adhesividad Base Asfáltica CA-24

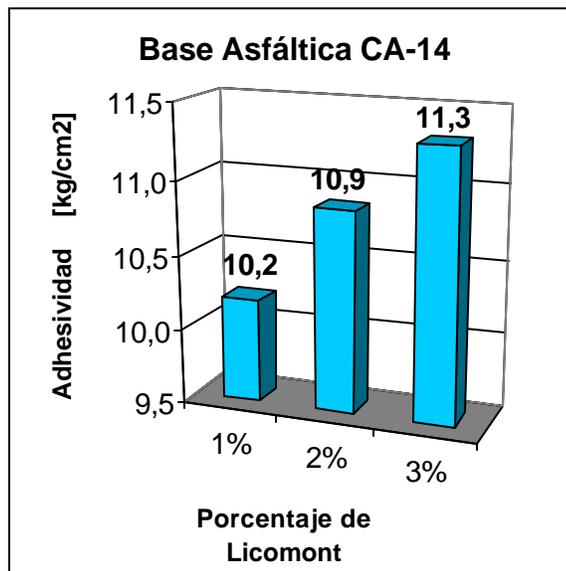


Figura 28 Ensaye de Adhesividad Base Asfáltica CA-14

4.7.4.2 Comparación con emulsiones tradicionales

Se compara la alternativa seleccionada como emulsión óptima termoadherente con dos emulsiones existentes en el mercado: CSS-1H y SPRAMUL-ML. La comparación considera estabilidad (caracterización) y pruebas de adherencia.

4.7.4.2.1 Estabilidad y adhesividad

Antes de presentar la comparación en cuanto a adhesividad entre la emulsión termoadherente y las emulsiones tradicionales, se presenta las caracterizaciones de las emulsiones seleccionadas para la comparación:

Tabla 26 Caracterización en cuanto a estabilidad de las emulsiones Tradicionales

Emulsión	Residuo por Evaporación %	Viscosidad Saybolt Universal [segundos]	Tamizado %
CSS-1H	23,82	34,00	0,09
SRAMUL ML	23,57	33,00	0,01

La preparación de las emulsiones tradicionales se efectúa disolviendo el concentrado en agua en razón 1:2.

La formulación seleccionada como termoadherente corresponde a la emulsión obtenida a partir de la base asfáltica de CA60-80 modificada al 3% de Licomont BS100, utilizando el emulsificante Emulsiv 196/95 para efectuar la emulsificación.

Se efectúan 3 mediciones por cada emulsión, cuyos resultados se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 27 Adhesividad de la emulsión Termoadherente versus emulsiones Tradicionales

Emulsión	Adherencia [kg/cm ²]			
	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio
CSS-1H	8,5	8,9	8,9	8,8
SPRAMUL	7,8	8,4	8,3	8,2
Termoadherente	17,6	17,4	17,9	17,6

Se presenta el gráfico de valores de adhesividad de las emulsiones desarrolladas y de las tradicionales:

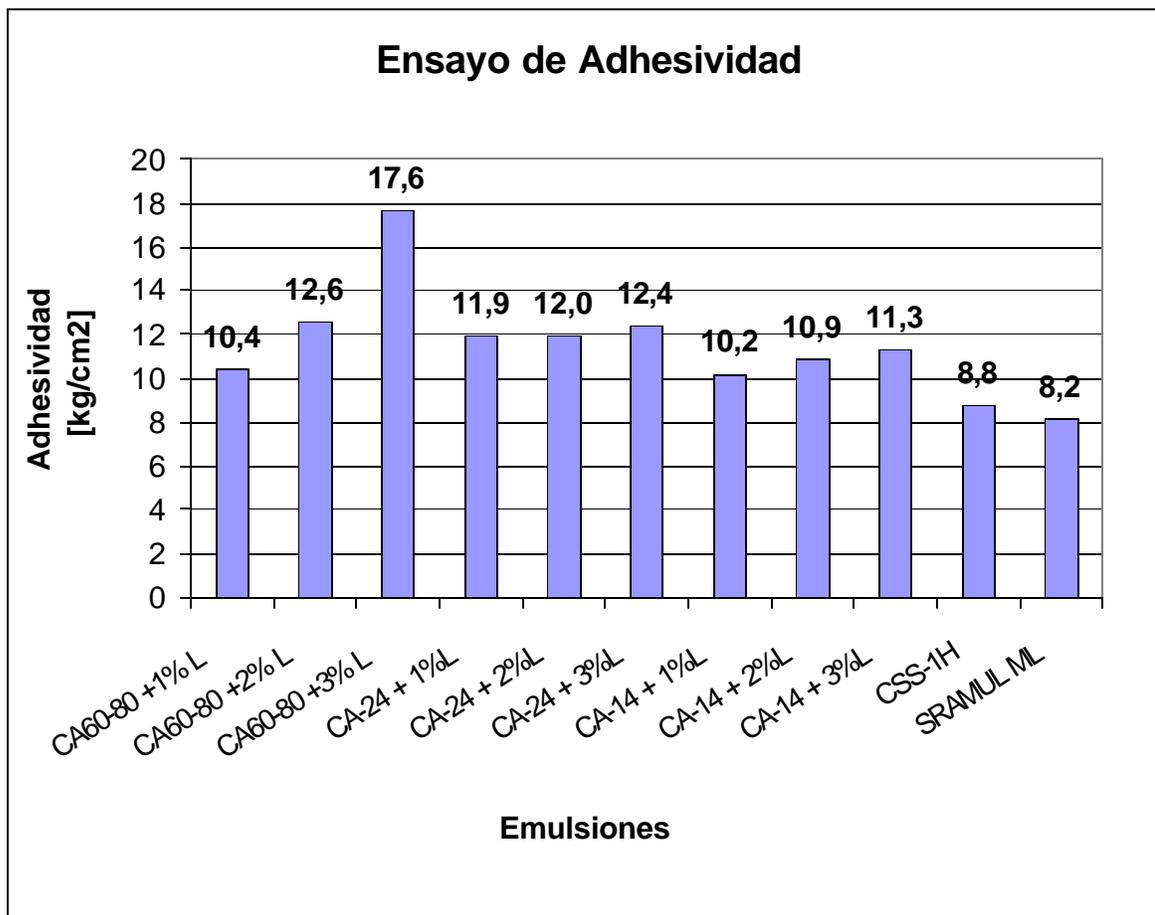


Figura 29 Comparación de Adhesividades entre emulsiones desarrolladas y las tradicionales

Se puede apreciar la diferencia de valores de adhesividad entre la emulsión seleccionada como termoadherente y las tradicionales.

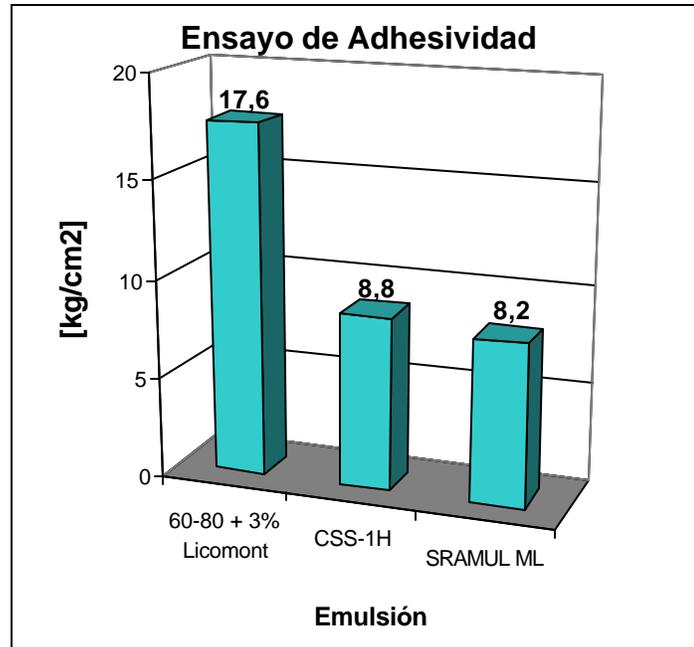


Figura 30 Comparación de Adhesividades entre la emulsión desarrollada y las tradicionales

4.7.4.2.2 Ensayo de Corte

El ensayo de resistencia al corte se efectúa a una temperatura ambiente de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. La preparación de las probetas contempló una dosificación de $0,5 \text{ kg/m}^2$. Se ensaya tres probetas por emulsión, teniéndose un total de 9 probetas.

Las probetas ensayadas se presentan en la siguiente figura.



Figura 31 Probetas Marshall para ensaye de Corte

Los valores de resistencia al corte se miden en kg/cm^2 y la deformación en pulgadas.

Los resultados obtenidos en el ensaye de corte son los siguientes:

Tabla 28 Resistencia al corte

Emulsión	Resistencia Última al Corte			
	Probeta 1 kg/cm^2	Probeta 2 kg/cm^2	Probeta 3 kg/cm^2	Promedio kg/cm^2
CSS-1H	4,2	4,0	3,7	4,0
SPRAMUL-ML	3,3	3,4	3,0	3,3
Termoadherente	5,4	5,0	4,4	5,0

Tabla 29 Deformación última

Emulsión	Deformación Última			
	Probeta 1 pg	Probeta 2 pg	Probeta 3 pg	Promedio pg
CSS-1H	0,040	0,040	0,028	0,036
SPRAMUL-ML	0,040	0,042	0,035	0,039
Termoadherente	0,055	0,036	0,022	0,038

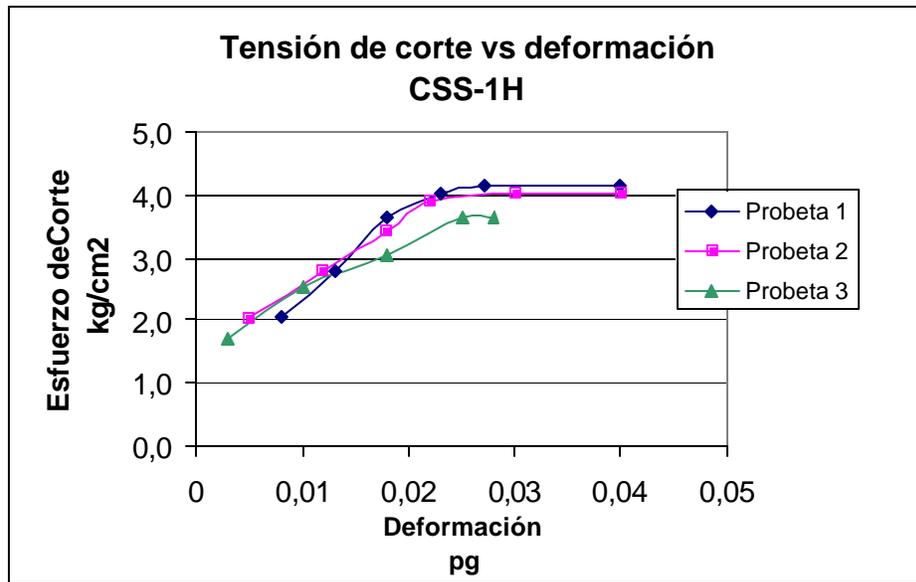


Figura 32 Resultados Ensayo de Corte para emulsión CSS-1H

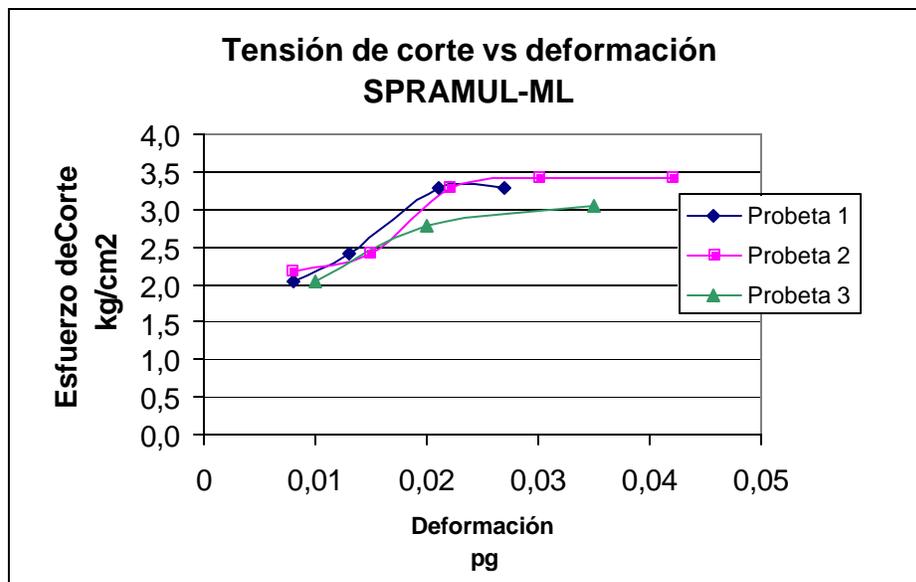


Figura 33 Resultados Ensayo de Corte para emulsión SPRAMUL-ML

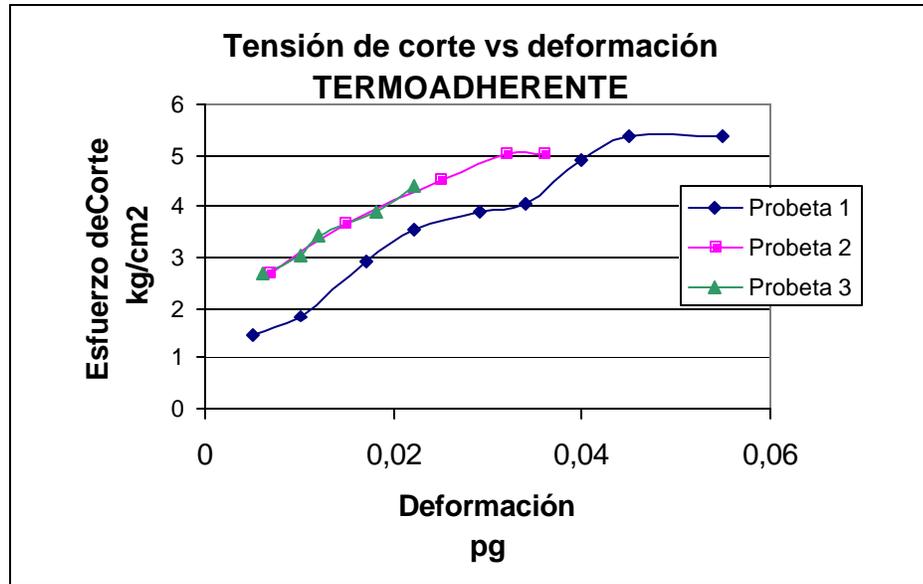


Figura 34 Resultados Ensayo de Corte para emulsión Termoadherente

4.7.4.2.3 Abrasión

El ensayo de abrasión permite cuantificar la protección que brinda el riego de emulsión en virtud de cuan adhesiva resulta la emulsión al sustrato a la que se aplica.

Se ensaya tres probetas por emulsión, teniéndose un total de 9 probetas, de diámetro 28 cm.

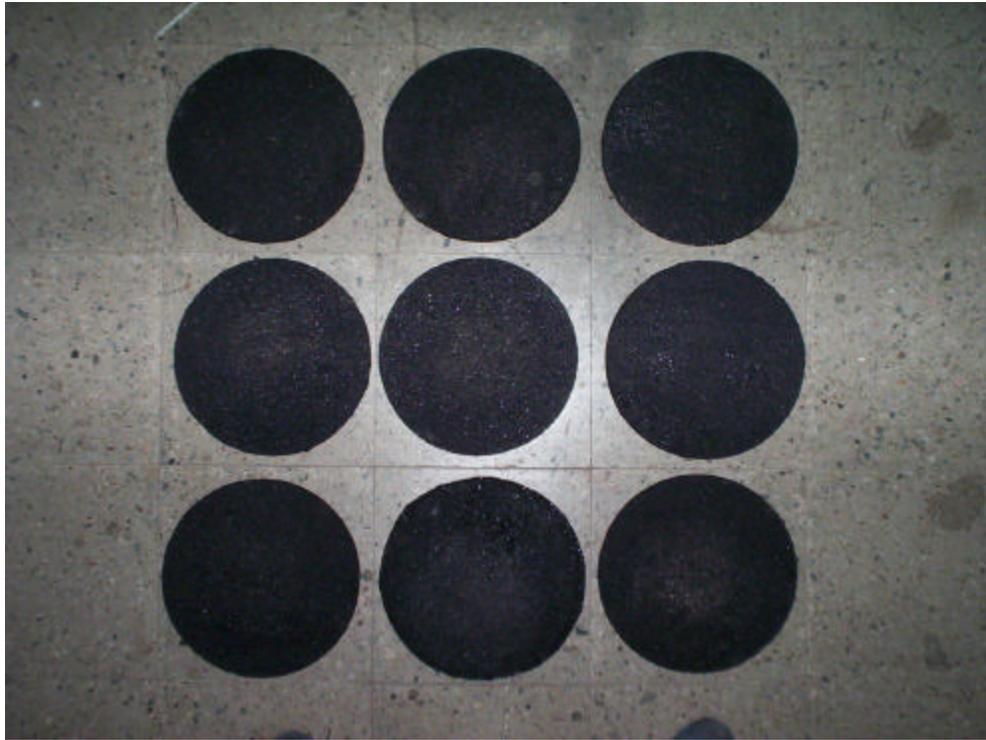


Figura 35 Probetas para ensaye de Abrasión

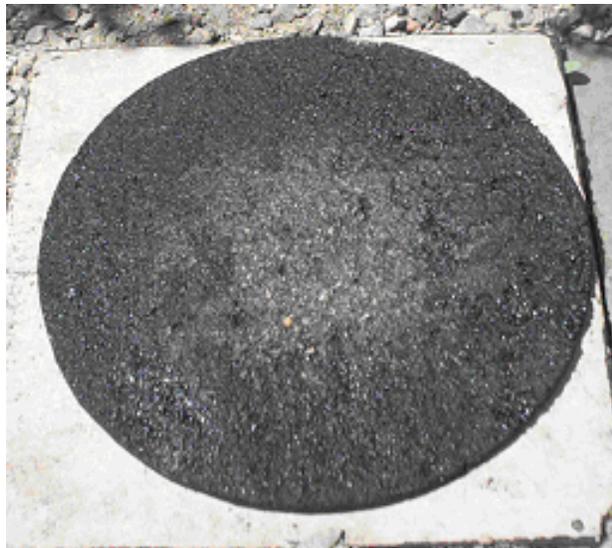


Figura 36 Estado de probeta luego del ensaye de abrasión

Los resultados obtenidos en el ensaye de abrasión son los siguientes:

Tabla 30 Resultados Ensayo de Abrasión

Emulsión	Probeta	Peso inicial [g]	Peso final [g]	Pérdida [g]	Pérdida Promedio [g]
CSS-1H	1	724,70	721,19	3,51	3,05
	2	851,30	849,19	2,11	
	3	880,10	876,56	3,54	
SPRAMUL-ML	1	896,90	896,00	0,90	1,08
	2	851,00	849,47	1,53	
	3	863,80	863,00	0,80	
Termoadherente	1	889,70	889,68	0,02	0,04
	2	882,00	881,98	0,02	
	3	925,20	925,12	0,08	

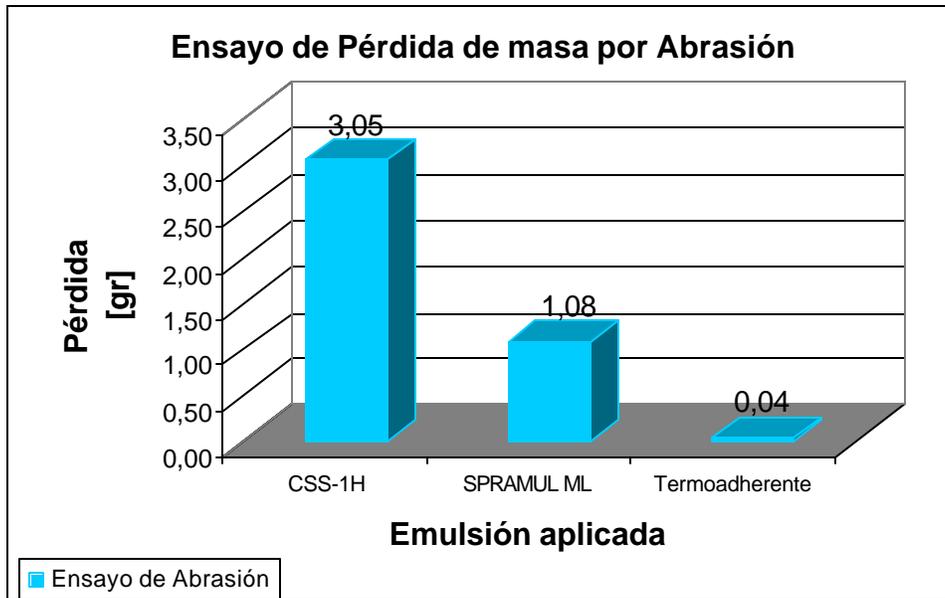


Figura 37 Resultados Ensayo de Corte

Capítulo 5

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.1 Caracterización de las bases asfálticas

Las características de los asfaltos modificados varían en relación al asfalto base utilizado y al porcentaje de modificación.

5.1.1 Penetración a 25°C

- Al modificar los asfaltos adicionando Licomont BS-100, se observa que los asfaltos modificados presentan una disminución en el valor de penetración, en comparación con los asfaltos sin modificar.
- Los valores de penetración obtenidos para los asfaltos modificados, indican que a mayor porcentaje de Licomont BS-100 en la base asfáltica, menor es el valor de la penetración obtenida para un mismo tipo de asfalto.
- La penetración más baja de los asfaltos modificados se alcanza para la base asfáltica CA-24 modificada con un 3% de Licomont BS-100.
- La penetración más alta de los asfaltos modificados se alcanza para la base asfáltica CA 60-80 modificada con un 1% de Licomont BS-100.

5.1.2 Punto de Ablandamiento

- El punto de ablandamiento de los asfaltos modificados resulta ser mayor que el correspondiente al asfalto sin modificación, en todos los casos. El mayor aumento ocurre, en todos los casos, para el mayor porcentaje de Licomont BS-100, que corresponde a una modificación de un 3%.
- Para CA 60-80 modificado con un 3% de Licomont BS-100, el valor del punto de ablandamiento crece en 48 °C (desde 50°C a 98°C).
- En el caso de CA-14 el asfalto modificado en 3% de Licomont BS-100, el aumento es de 46°C (de 51 a 97°C).

- Para CA-24 modificado con un 3% de Licomont BS-100, el aumento es de 44°C (de 51°C a 95°C).

5.1.3 Índice de Penetración

- El índice de penetración, para todos los tipos de asfaltos, varió de valores negativos, a positivos, a medida que aumentaba el contenido de Licomont BS-100.
- El valor máximo corresponde a CA-14 modificado con un 3% de Licomont con $IP = 5,76$; sin embargo la mayor diferencia ocurre al modificar en un 3% de Licomont BS-100 al asfalto CA-24, aumentando en 7,01 unidades (de $IP = -1,29$ a $IP = 5,72$).

5.1.4 Viscosidad Brookfield

- Los gráficos de viscosidad permiten observar que ocurre un desplazamiento hacia abajo de las curvas de viscosidad, para todos los asfaltos, a medida que se aumenta el porcentaje de modificación con Licomont BS-100.
- El asfalto CA 60-80 presenta valores similares de mezclado y compactación para los tres porcentajes de modificación a los que se somete.
- Los asfaltos CA-14 y CA-24 presentan valores similares de mezclado y compactación para modificaciones de 1% y 2%, pero estos valores decrecen más para un 3%.

5.2 Resultado de las alterativas de emulsión formuladas

- Las alternativas de emulsión termoadherentes contemplaban la variación tanto del tipo de asfalto, como el tipo de emulsificante.
- Las formulaciones que incluían en su composición el emulsificante INDULIN W5 (CSS) no fue posible desarrollarlas, puesto que el emulsificante no fue capaz de mantener la estabilidad entre asfalto y agua. Aún en los casos de bases

asfálticas con baja participación del modificador Licomont BS-100, la estabilidad no logró conseguirse.

- Por otra parte, las formulaciones en que se utilizó el emulsificante Emulsiv 196/95, fueron desarrolladas satisfactoriamente, sin mayores complicaciones, puesto que el emulsificante dotaba a la mezcla de la estabilidad necesaria.
- En cuanto al tipo de asfalto, los tres tipos de asfalto eran capaces de ser emulsificados, utilizando Emulsiv 196/95, sin grandes diferencias en el proceso de elaboración, a excepción de las emulsiones con base asfáltica CA 60-80, que antes de emulsificar producían una pequeña cantidad de espuma, la que luego se integraba al resto de la emulsión.

5.3 Caracterización de emulsiones asfálticas

La caracterización de las emulsiones desarrolladas permite conocer su grado de estabilidad.

5.3.1 Tamizado

- Los resultados obtenidos en el ensaye de tamizado son bastante similares, obteniéndose valores prácticamente nulos, en cuanto a presencia de impurezas, por lo que se puede calificar el nivel de pureza como óptimo.
- El mayor valor de impurezas es de 0,2% y se obtiene a partir de la emulsión cuya formulación contiene CA-14, una participación de Licomont BS-100 de un 1% y Emulsiv 196/95 como emulsificante.
- El menor valor resulta común para varias formulaciones, siendo prácticamente nulo (0,01% de impurezas).

5.3.2 Viscosidad Saybolt Universal

- Los valores obtenidos de Viscosidad Saybolt Universal presentan poca dispersión, encontrándose todos dentro de una clara banda, entre los 35 a 40 segundos.
- Para las emulsiones con base asfáltica CA 60-80 y CA-24, los valores de viscosidad resultan ser muy similares para un mismo tipo de asfalto, mientras que los valores obtenidos con base asfáltica CA-14, se aprecian valores muy distintos, alcanzándose para esta base los valores mínimo y máximo del total de las emulsiones. El valor mínimo se obtiene para CA-14 con 3% de Licomont BS-100 y el máximo para CA-14 con 1% de Licomont BS-100.

5.3.3 Residuo por evaporación

- Los valores de contenido de asfalto obtenidos por el ensaye de residuo por evaporación son todos cercanos al 25%.
- La emulsión obtenida en base a CA 60-80 al 3% de Licomont BS-100 presentó el menor valor de contenido de asfalto con un valor de 25,3%.
- La emulsión obtenida en base a CA-14 al 2% de Licomont BS-100 presentó el mayor valor de contenido de asfalto con un valor de 30,1%.

5.4 Adherencia

Los ensayos definidos entregaron resultados muy aclaratorios en cuanto a la medición de adherencia, tanto entre capas asfálticas como la adhesividad neumática.

5.4.1 Selección de la emulsión Termoadherente

5.4.1.1 Adhesividad

- El valor más alto de adhesividad corresponde al obtenido por la emulsión desarrollada en base a CA 60-80 modificado con 3% de Licomont BS-100, con un valor de 17.6 kg/cm² superando notablemente el promedio de los valores

(11,1 kg/cm²), siendo esta formulación 1,5 veces más adhesiva que el promedio del resto de las otras.

- El segundo valor más alto, también corresponde a una base asfáltica de CA 60-80, pero modificado con un 2% de Licomont BS-100.
- Para un mismo porcentaje de participación de Licomont BS-100, las emulsiones con base asfáltica CA 60-80 presentan mayores resultados de adhesividad siempre.
- Se obtiene que para cada tipo de asfalto, los mayores valores de adhesividad se alcanzan para las mayores participaciones de Licomont BS-100.

5.4.2 Comparación con emulsiones tradicionales

La comparación con emulsiones tradicionales se realiza mediante los ensayos de adhesividad, corte y abrasión.

5.4.2.1 Estabilidad y adhesividad

- En cuanto a estabilidad, los valores obtenidos por las emulsiones tradicionales en los ensayos de residuo por evaporación, tamizado y viscosidad universal, son muy similares entre sí, a diferencia de la emulsión termoadherente, que si bien presenta un valor similar en el ensaye de tamizado, en el ensaye de viscosidad se obtiene una mayor viscosidad y en el ensaye de contenido de residuo por evaporación se obtiene un mayor contenido de residuo.
- El valor de adhesividad de la emulsión termoadherente obtenido en el ensaye de adhesividad resulta ser el doble del valor de adhesividad de las emulsiones tradicionales. Termoadherente: 17,6 kg/cm²; CSS-1H: 8,8 kg/cm² y SPRAMUL ML: 8,2 kg/cm²).

5.4.2.2 Ensayo de Corte

- En el ensaye de resistencia al corte, la emulsión termoadherente presentó el mayor valor de resistencia última (5 kg/cm² en promedio, en comparación con la CSS-1H y la SPRAMUL ML, siendo un 25% y un 52% mayor respectivamente.

- El menor valor de resistencia al corte obtenido por la emulsión termoadherente: $4,4 \text{ kg/cm}^2$, es mayor que el mayor valor de las emulsiones tradicionales: $4,2 \text{ kg/cm}^2$.
- En todas las mediciones, la resistencia al corte de la emulsión termoadherente es mayor que la resistencia de las emulsiones tradicionales.
- Los valores de deformación previa a la falla son muy similares para las tres emulsiones.

5.4.2.3 Ensayo de Abrasión

- El valor de la pérdida de masa obtenido en el ensayo de abrasión es menor para el caso de la emulsión termoadherente.
- El valor obtenido por la CSS-1H es 86 veces mayor al valor correspondiente a la termoadherente mientras que para el caso de SPRAMUL ML es 28 veces mayor que la termoadherente.
- Se ordenan los valores de pérdida de menor a mayor: Termoadherente: 0,04 g; CSS-1H: 1,08 g; SPRAMUL ML: 3,0 g.

Capítulo 6

CONCLUSIONES

- Fue posible desarrollar las emulsiones asfálticas consideradas en las formulaciones planteadas. A partir de estas emulsiones y en virtud de los resultados obtenidos en los ensayos, se seleccionó la emulsión termoadherente.
- La emulsión asfáltica termoadherente desarrollada presenta un incremento significativo en la adherencia entre capas bituminosas sucesivas lo que asegura que éstas trabajen de forma solidaria frente a las cargas del tráfico; Por las características del asfalto residual, esta emulsión es altamente adherente entre carpetas asfálticas calientes, cualidad a la que debe su denominación de termoadherente. Gracias a esta particularidad, se logró disminuir hasta anular la adhesividad ligante-neumático del riego de emulsión con el tráfico de obra circulante en la fase de ejecución, evitando pérdidas de eficiencia por disminución de la dotación del riego y preservando la limpieza de la obra.
- La emulsión termoadherente desarrollada corresponde a una emulsión catiónica de quiebre medio.
- El residuo asfáltico que se obtiene luego del quiebre de la emulsión termoadherente corresponde al asfalto modificado mediante adición de cera.
- El asfalto modificado que se obtiene presenta una mayor dureza, característica que se aprecia en la disminución de la penetración y en el aumento del punto de ablandamiento; una menor susceptibilidad térmica, gracias al desplazamiento del índice de penetración de valores negativos a positivos y una disminución de las temperaturas de mezclado y compactación al disminuir los valores de viscosidad.
- Los ensayos de caracterización de la emulsión termoadherente evalúan satisfactoriamente la estabilidad de la misma, apreciándose una emulsión estable y libre de impurezas.
- Se logró definir ensayos de adherencia, los que permitieron cuantificar la alta adherencia que desarrolla el riego con emulsión termoadherente entre carpetas asfálticas calientes, mejorando el desempeño del pavimento que se desarrolla. Se obtiene valores coherentes y comprobables entre ellos. Las diferencias en cuanto adherencia entre capas de asfalto caliente es notable en relación al

desempeño en este ámbito por parte de las emulsiones tradicionales, las que presentan graves deficiencias tanto en su aplicación como su posterior performance. La formulación seleccionada como termoadherente presenta siempre un desempeño claramente superior en relación a las emulsiones tradicionales.

- El ensayo de adhesividad permite observar las características especiales que presenta la formulación de la emulsión termoadherente, estableciendo grandes diferencias tanto con las otras alternativas consideradas en el desarrollo, como con las emulsiones tradicionales.
- Los ensayos de resistencia al corte y de abrasión constituyen un método adecuado en la medición de adherencia entre capas y de adhesividad-neumática. Aunque los valores de pérdida por abrasión sean bajos, tanto para la emulsión termoadherente como para las tradicionales, el resultado de este ensaye permiten tener una idea acabada del desempeño de la adherencia.
- La emulsión termoadherente desarrollada posee propiedades nuevas en cuanto a adherencia y desempeño, propiedades que fueron cuantificadas y comprobadas, por lo que se puede concluir satisfactoriamente respecto al desarrollo.

BIBLIOGRAFIA

1. **Edwards, Y., 2005.**, “Influences of waxes on bitumen and asphalt concrete mixture performance”. KHT Architecture and the Built Environment.
2. **MOP, 2003**, “Manual de Carreteras, Volumen N°5 - Especificaciones Técnicas Generales de Construcción”
3. **MOP, 2003**, “Manual de Carreteras, Volumen N°8 - Especificaciones y métodos de muestreo, ensaye y control”
4. **Probisa, 2000** ”Emulsión Termoadherente” Probiclean, 2000.
5. **Cowley, L., Fisher, R.** “Use of a bitumen/wax composition” Agente: Carol Wilson Bp America Inc.- Warrenville, Il, US. Inventors:Lloyd Graham Cowley, Robert Gerald Fisher. Class: 524059000(USPTO), C08K005/34 (Intl Class)
6. **Shell Bitumen U.K., 1990** “The Shell Bitumen Handbook”
7. **Childs, R.**,”Problemática de los Riegos de Adherencia”.Mercado Nynas-España y Portugal. Performance, Nynas Bitumen. Publicación Técnica Julio 2004.
8. **Rodríguez, R., Castaño, V.,Martínez, M., 2001**”Emulsiones Asfálticas” Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica N°23. Sanfadilla, Qro, 2001.
9. **Bardesi, A., 2004** “Innovaciones en Tecnología” Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas, 2004.
10. <http://www.nynas.com> último acceso en Septiembre 2007
11. <http://www.shell.com> último acceso en Septiembre 2007
12. <http://www.asfalchilemobil.cl> último acceso en Julio 2007
13. <http://www.elcometer.com> último acceso en Septiembre 2007
14. <http://training.ce.washington.edu/WSDOT/> último acceso en Julio 2007

ANEXOS

A FICHA TÉCNICA EMULSIONES TRADICIONALES



**ESPECIFICACIONES INTERNAS
EMULSIÓN ASFÁLTICA ELASTOMÉRICA MICROPAVIMENTOS
SPRAMUL ML (Concentrado)**

Ensayes		Método de Ensaye	Spramul ML Especificación
			Interna
- Viscosidad Saybolt Furol a 25°C	(SFS)	NCh 2334-98	20 - 40
- Carga de partícula	(-)	NCh 2348-98	Positiva/Negativa
- Sedimentación 7 días	(%)	NCh 2348-98	Máx. 5
- Residuo por evaporación	(%)	MC 5.405.201.A	Mín. 62
- Tamizado	(%)	NCh 2348-98	Máx. 0,1
- Ensayes en el residuo:			
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s.	(0,1 mm)	NCh 2340-99	50 - 90
Punto de ablandamiento	(°C)	NCh 2337-98	Mín. 53
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min.	(cm)	NCh 2342-99	Mín. 60
Indice de Fraass	(°C)	NCh 2344-99	Máx. (-18)
Indice de Penetración	(-)	MC 8.302.21	Mín. 1,0
Recuperación Elástica Lineal 13°C, 20 cm, 1 h.	(%)	DIN 52013 / MC.8.302.19	Mín. 50
Recuperación Elástica Torsional a 25°C	(%)	NLT 329-91	Mín. 20
Viscosidad Brookfield a 60°C	(P)	ASTM D4402-87 / MC. 8.302.24	Informar
Especificación Nacional Emulsión Elastomérica Micropavimentos:		MC Vol5 5.406(5).201.A	



Shell Bitumen

ESPECIFICACIONES INTERNAS EMULSIONES ASFÁLTICAS SPRAMUL (concentrado)	SC0103
	Versión 02 26-Oct-2005

Ensayes	Método de Ensaye NCh	Spramul CSS-1H Especificación Interna	
		Mín.	Máx.
- Viscosidad Saybolt Furol a 25°C (SFS)	2334-98	20	40
- Viscosidad Saybolt Furol a 50°C (SFS)	2334-98		---
- Sedimentación 5 días (%)	2348-98		5
- Estabilidad en almacenamiento 1 día (%)	2348-98		1
- Demulsibilidad, 35ml, 0,8% Dioctyl. (%)	2348-98		---
- Carga de partícula (-)	2348-98		Positiva
- Tamizado (%)	2348-98		0,10
- Mezcla con cemento (%)	2348-98		2,0
- Destilación:			
Aceite destilado por volumen de emulsión (%)	2348-98		---
Residuo (%)	2348-98	57	
- Ensayes en el residuo de la destilación:			
Penetración a 25°C, 100 g, 5 seg. (0,1 mm)	2340-99	50	70
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min. (cm)	2342-99	40	
Solubilidad en Tricloroetileno (%)	2341-99	97,5	
Ensaye de la mancha con Hep./Xil. (%Xilol)	2343-99		25
Especificación Nacional Emulsiones Asfálticas	NCh 2440-98		

B EQUIPO MEDIDOR DE ADHESIVIDAD

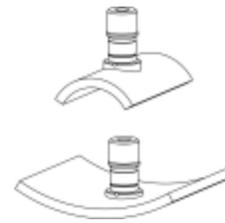
Medidor de pruebas para adherencia hidráulico Elcometer 108

elcometer®



El Elcometer 108 es medidor de pruebas para adherencia hidráulico totalmente versátil, idóneo para cualquier tipo de prueba. Puede aplicarse en superficies planas o curvas (cóncavas y convexas).

Se adhiere una sufridera reutilizable de acero inoxidable a la superficie y se aplica la fuerza necesaria para separarla de la superficie mediante el mango. El valor de la fuerza aplicada aparece en la pantalla digital o en el dial analógico. En zonas susceptible de explosión (p. ej. zonas inflamables), debe seleccionarse la versión analógica.



El Elcometer 108 es ideal para revestimientos en depósitos, tuberías, etc.

- Portátil y funcionamiento manual
- Ideal para aplicación in situ
- Sufrideras reutilizables de acero inoxidable
- Kit completo y estuche de transporte

Características del medidor de adherencia digital Elcometer:

- Indicador de máximo: indica el valor más alto alcanzado.
- Precisión de lectura de un $\pm 1\%$
- Pantalla retroiluminada para zonas oscuras
- Armazón protector de goma
- Unidades métrica y británica conmutables

El Elcometer 108 puede utilizarse con sufrideras curvas, lo que lo convierte en el medidor adecuado para tuberías, depósitos u otras superficies curvadas. Existe toda una gama de sufrideras curvas, cada una diseñada para un rango específico de curvatura. Las sufrideras convexas (ilustración superior) y cóncavas (ilustración inferior) están indicadas para curvaturas externas e internas respectivamente. Para obtener más información, póngase en contacto con Elcometer.

**C EMULSIFICANTE UTILIZADO EN LA EMULSIÓN
TERMOADHERENTE**

D ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LICOMONT BS-100