



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

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA DE LA
ADHERENCIA ENTRE CAPAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE CARPETAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CRISTIAN FABIAN ALVAREZ CALISTO

**PROFESOR GUÍA:
FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
DAVID CAMPUSANO BROWN
GUSTAVO GONZÁLEZ REVECO**

**SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2007**

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

POR : CRISTIAN ALVAREZ C.
FECHA : 18/10/2007
PROFESOR GUÍA : FEDERICO DELFÍN A.

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA ADHERENCIA ENTRE CAPAS EN LA
CONSTRUCCIÓN DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

La importancia estructural de las emulsiones asfálticas utilizadas como “Riego de Liga” en pavimentos construidos con mezclas asfálticas en caliente ha sido predominantemente ignorado. En el cálculo estructural se asume que estas se comportan de manera monolítica. Sin embargo esto no ocurre en la realidad.

En el presente estudio se evalúa, mediante ensayos de corte del tipo LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona), la influencia de las variables mas significativas en la resistencia de adherencia entre las capas de la carpeta asfáltica.

Con este propósito, se desarrollo una metodología experimental y se utilizaron como Riego de Liga 3 emulsiones asfálticas de tipo convencional (CRS-1, CSS-1H y Spramul ML) y una experimental con características termo-adherentes (M1). Entre las variables analizadas se destacan: dosis de riego, propiedades de las emulsiones, temperatura de compactación y contaminación de riegos ya quebrados.

Se utilizaron como parámetros de referencia probetas monolíticas y probetas de doble capa sin riego de adherencia en la junta.

De los resultados obtenidos se puede decir que:

- Si se mantienen dosis de residuo entre 0.10 lt/m^2 y 0.30 lt/m^2 no se aprecian diferencias significativas en términos de resistencia. La dosis óptima de residuo para las distintas emulsiones se encuentra entre los 0.11 y 0.21 lt/m^2 , valores inferiores a los aplicados y recomendados comúnmente.
- Cualquier tipo de contaminación del residuo o de disminución de la temperatura de compactación recomendada, reduce considerablemente el porcentaje de adherencia.
- La emulsión M1 presentó los mejores resultados, alcanzando valores constantes en torno al 85% de la resistencia monolítica.
- Para comparar los testigos obtenidos a partir de las probetas WTT es necesario reducir el porcentaje de adherencia de las probetas en un 30% en relación a las probetas monolíticas.

La metodología empleada es una herramienta efectiva para la obtención de una dosis óptima para cualquier tipo de emulsión, sin necesidad de emplear grandes equipos o gran cantidad de recursos. Podría ser una herramienta de diseño confiable y de fácil aplicación.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer y dedicar este trabajo a mis padres, Alfonso y Yolanda. Siempre me han comprendido y entregado su apoyo de manera incondicional. Han sido años difíciles con altos y bajos, pero a pesar de la distancia siempre han estado presentes. Realmente los admiro y los quiero mucho.

A Carolina, mi amor y mi pilar fundamental. A lo largo de estos años hemos crecido y formado un hogar. Gracias por tu comprensión, tu cariño y tu amor, por ceder en muchos aspectos y por ayudarme a estar en esta etapa de mi vida que he perseguido por mucho tiempo.

Gracias a todos los funcionarios que trabajan en IDIEM, que de alguna u otra manera se interesaron y me apoyaron en la realización de este trabajo. Quisiera mencionar a Don Pablo Guzmán, Don Maximiliano Aliaga y a Don Cristian Díaz por estar siempre dispuestos a brindarme su ayuda de manera desinteresada. Por supuesto las gracias a Fernando Sandoval por su ayuda y amistad.

Mis agradecimientos al profesor Don Federico Delfín A. por su orientación y experiencia. Y a todos aquellos que me entregaron sus conocimientos y vivencias durante el transcurso de la carrera.

Finalmente a mis amigos y compañeros de la U: sureños, nortinos y santiaguinos por igual. Quienes han hecho que la universidad sea una experiencia inolvidable.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1	10
1.1. Introducción.....	10
1.2. Presentación del Problema.....	10
1.3. Justificación del Trabajo.....	12
1.4. Objetivos.....	13
1.4.1. Objetivo General.....	13
1.4.2. Objetivos Específicos	13
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES	14
2.1. Antecedentes Generales.....	14
2.1.1. Importancia del Riego de Liga	14
2.1.2. Las Emulsiones Asfálticas.....	15
2.2. Definición del procedimiento de ensayo a utilizar	17
2.2.1. Ensayo de Corte LCB	17
2.2.2. Ensayos de tracción Endacma (Intecasa).....	20
2.2.3. Ensayo de Corte Normalizado del Cedex.....	21
2.2.4. Ensayo de corte Swiss Standard	22
2.2.5. Ensayo de corte Superpave Shear Tester.....	23
2.2.6. Ensayo de corte usando maquina Marshall	24
2.2.7. Ensayo de corte ASTRA	24
2.2.8. Ensayo de corte ATACKER.....	25
2.3. Resultados de Ensayos a Testigos de distintas Obras de Chile	26
2.4. Variables significativas a controlar	26
CAPÍTULO 3: ETAPA EXPERIMENTAL.....	27
3.1. Programa de trabajo.....	27
3.2. Elaboración de la mezcla asfáltica.....	27
3.3. Caracterización de los materiales	28
3.3.1. Agregado mineral	28
3.3.2. Cemento asfáltico	29
3.4. Dosificación de la Mezcla Asfáltica.....	30
3.5. Descripción de las emulsiones a utilizar	32
3.5.1. Emulsión CSS-1H	32
3.5.2. Emulsión CRS-1	33
3.5.3. Emulsión Spramul ML con polímeros	33
3.5.4. Emulsión Experimental M1	34
3.6. Aplicación de Riego Liga.....	35
3.7. Construcción de Probetas	36
3.7.1. Descripción del trabajo.....	36
3.7.2. Diseño utilizado.....	37
3.7.3. Metodología para la construcción de probetas	39
3.7.4. Metodología de Aplicación de Riego Liga.....	40
3.7.5. Metodología para la obtención de testigos	41
3.7.6. Metodología de ensayos	42
3.7.7. Obtención de resultados.....	43
3.8. Determinación Número de probetas a construir	44

CAPÍTULO 4: PRESENTACION DE RESULTADOS	45
4.1. Probetas Construidas	45
4.2. Ensayos de Corte y Tensiones	46
4.2.1. Probetas Monolíticas y sin emulsión	46
4.2.2. Variación de Dosis de residuo aplicada.....	47
4.2.3. Disminución de la temperatura de compactación 2° capa.....	58
4.2.4. Residuo contaminado con agua.	61
4.2.5. Residuo contaminado con polvo.	63
 CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	 66
5.1. Criterios de Aceptación	66
5.2. Análisis de variables	66
5.2.1. Probetas Monolíticas y sin emulsión	66
5.2.2. Variación de Dosis de residuo aplicada.....	67
5.2.3. Tipos de Emulsiones.....	75
5.2.4. Propiedades Físicas y Químicas de la emulsiones	76
5.2.5. Comparación entre Probetas y Testigos con emulsión CRS – 1.	78
5.2.6. Comparación de Emulsiones CSS - 1H y Spramul ML.	79
5.2.7. Disminución de la temperatura de compactación 2° capa.....	79
5.2.8. Residuo contaminado con agua.	82
5.2.9. Residuo contaminado con polvo.	83
 CAPÍTULO 6: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	 85
6.1. Variables analizadas	85
6.2. En relación a las propiedades de las emulsiones	86
6.3. Metodología para el control del residuo asfaltico	87
6.4. Comentarios y Conclusiones Generales	88
 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	 90
7.1. Bibliografía.....	90
7.2. Material en línea	92
7.3. Comunicaciones Personales	92
 ANEXO A	 93
 ANEXO B	 98
 ANEXO C	 119

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1: Esquema de distribución de Esfuerzos en un Pavimento Multicapas.	10
Figura N° 1.2: Falla de deslizamiento de carpeta superior.....	11
Figura N° 1.3: Fisura o grieta parabólica	11
Figura N° 1.4: Arrollamiento Transversal.....	11
Figura N° 2.1: Comparación de Viga Monolitica y Viga Multicapa	14
Figura N° 2.2: Aplicación de Riego de Liga. Camión bomba con barra esprayadora [5].....	15
Figura N° 2.3: Etapas del Quiebre de una Emulsión [18].	16
Figura N° 2.4: Esquema de fuerzas y tensiones actuantes sobre la disposición de la probeta.....	18
Figura N° 2.5: Disposición de la probeta en la prensa durante la realización del ensayo.....	19
Figura N° 2.6: Moldes para la fabricación y el ensayo de probetas	19
Figura N° 2.7: Mordazas para el ensayo de testigos.	19
Figura N° 2.8: Bases para el ensayo de probetas y testigos.	20
Figura N° 2.9: Dispositivo de tracción del ensayo ENDACMA®.....	21
Figura N° 2.10: Dispositivo empleado en el ensayo de corte del CEDEX	22
Figura N° 2.12: Caja de Corte con muestra preparada. Caja de Corte en SST.	23
Figura N° 2.11: Swiss LPDS Tester	23
Figura N° 2.13: FDOT dispositivo de tensión.....	24
Figura N° 2.14: Caja de Corte ASTRA. Aparato para medir la tensión entre capas.....	25
Figura N° 2.15: Dispositivo ATACKER para tensión entre capas con riego de liga.....	25
Figura N° 3.1: Gráficos de Dosificación Marshall.	31
Figura N° 3.2: Aforo y Calibración del flujo de Pistola.....	35
Figura N° 3.3: Pruebas sobre distintas Superficies.	35
Figura N° 3.4: Bandeja Metálica con 3 probetas preparadas para aplicación de riego.	36
Figura N° 3.5: Comparación entre carpetas asfálticas en terreno y probeta doble capa.	36
Figura N° 3.6: Molde, Collarín y Martillo Marshall.	36
Figura N° 3.7: Construcción de Probeta Asfáltica de doble capa.	39
Figura N° 3.8: Esquema de Aplicación de Riego de Liga.....	41
Figura N° 3.9: Esquema de Construcción de Probetas Wheel Tracking.....	42
Figura N° 4.1: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas Monolíticas y Sin Riego.....	46
Figura N° 4.2: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión CSS - 1H.	48
Figura N° 4.3: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión CRS - 1.....	50
Figura N° 4.4: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión Spramul ML.	52
Figura N° 4.5: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión M1	54
Figura N° 4.6: Gráficos de Ensayos LCB. Testigos Monolíticos y Sin Riego.....	56
Figura N° 4.7: Gráficos de Ensayos LCB. Testigos con Emulsión CRS - 1.....	57
Figura N° 4.8: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión CRS - 1. Cambio de Temperatura 2° capa.....	59
Figura N° 4.9: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión M1. Cambio de Temperatura 2° capa.....	60
Figura N° 4.10: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Agua.	62
Figura N° 4.11: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Polvo.	64
Figura N° 5.1: Gráfico Tensión v/s Dosis. Óptimo de Residuo Emulsión CSS-1H.	68
Figura N° 5.2: Gráfico Tensión v/s Dosis. Óptimo de Residuo Emulsión CRS-1.....	69
Figura N° 5.3: Gráfico Tensión v/s Dosis. Óptimo de Residuo Emulsión Spramul ML.	71

Figura N° 5.4: Gráfico Tensión v/s Dosis. Óptimo de Residuo Emulsión M1.	72
Figura N° 5.5: Gráfico Tensión v/s Dosis. Óptimo de Residuo. Testigos con Emulsión CRS-1..	74
Figura N° 5.6: Gráfico Tensión Corregida v/s Dosis. Comparación de Emulsiones.	75
Figura N° 5.7: Gráfico Tensión Máxima v/s Dosis. Comparación de Emulsiones.....	76
Figura N° 5.8: Gráfico Tensión v/s Dosis. Comparación de Probetas y Testigos CRS-1.....	78
Figura N° 5.9: Gráfico Tensión v/s Dosis. Comparación Emulsiones CSS-1H y Spramul ML. ...	79
Figura N° 5.10: Gráfico Tensión Corregida v/s Variación de Temperatura 2da capa.	80
Figura N° 5.11: Gráfico Tensión Corregida v/s Variación de Temperatura 2da capa.	81
Figura N° 5.12: Gráfico Residuo contaminado con Agua.....	82
Figura N° 5.13: Gráfico Residuo contaminado con Polvo.	83

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Tensiones Promedio Obras Chilenas.	26
Tabla N° 3.1: Granulometría Densa.	27
Tabla N° 3.2: Granulometría Semidensa.	28
Tabla N° 3.3: Granulometría Áridos.	28
Tabla N° 3.4: Constantes Físicas e Hídricas de los Áridos.	29
Tabla N° 3.5: Características del Cemento Asfáltico.	29
Tabla N° 3.6: Parámetros de Dosificación Marshall.	30
Tabla N° 3.7: Certificado Control de Calidad Emulsión CSS - 1H.	32
Tabla N° 3.8: Certificado Control de Calidad Emulsión CRS - 1.	33
Tabla N° 3.9: Certificado Control de Calidad Emulsión Spramul ML.	34
Tabla N° 3.10: Formulación Emulsión Experimental M1.	34
Tabla N° 3.11: Certificado Control de Calidad Emulsión Experimental M1.	35
Tabla N° 3.12: Diseño Marshall Óptimo.	37
Tabla N° 3.13: Granulometría de las capas de la probeta Marshall.	37
Tabla N° 3.14: Densidad Marshall Corregida.	38
Tabla N° 3.15: Granulometría de la probeta WTT.	38
Tabla N° 3.16: Ejemplo de Aforo Flujo de salida Pistola.	40
Tabla N° 3.17: Ejemplo de Dosis de Riego.	40
Tabla N° 4.1: Nomenclatura para la identificación de probetas.	45
Tabla N° 4.2: Carga Máxima. Probetas Monolíticas y Sin Riego.	46
Tabla N° 4.3: Tensión Promedio de Corte. Probetas Monolíticas y Sin Riego.	47
Tabla N° 4.4: Datos y Aplicación de Riego con Emulsión CSS - 1H.	47
Tabla N° 4.5: Carga Máxima. Probetas con Emulsión CSS - 1H.	49
Tabla N° 4.6: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión CSS - 1H.	49
Tabla N° 4.7: Datos y Aplicación de Riego con Emulsión CRS - 1.	50
Tabla N° 4.8: Carga Máxima. Probetas con Emulsión CRS - 1.	51
Tabla N° 4.9: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión CRS - 1.	51
Tabla N° 4.10: Datos y Aplicación de Riego con Emulsión Spramul ML.	51
Tabla N° 4.11: Carga Máxima. Probetas con Emulsión Spramul ML.	53
Tabla N° 4.12: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión Spramul ML.	53
Tabla N° 4.13: Datos y Aplicación de Riego con Emulsión Experimental M1.	53
Tabla N° 4.14: Carga Máxima. Carga Máxima. Probetas con Emulsión Experimental M1.	55
Tabla N° 4.15: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión M1.	55
Tabla N° 4.16: Probeta WT y Aplicación de Riego con Emulsión CRS - 1.	56
Tabla N° 4.17: Carga Máxima. Testigos con Emulsión CRS - 1. Monolíticos y Sin Riego.	57
Tabla N° 4.18: Tensión Promedio de Corte. Testigos con Emulsión CRS - 1.	58
Tabla N° 4.19: Aplicación de Riego con Emulsión CRS - 1. Dosis de residuo 0.22[l/m ²].	58
Tabla N° 4.20: Carga Máxima. Cambio de Temperatura 2° capa. Probetas con Emulsión CRS - 1.	59
Tabla N° 4.21: Tensión Promedio de Corte. Cambio de Temperatura 2° capa. Probetas con Emulsión CRS - 1.	60
Tabla N° 4.22: Aplicación de Riego con Emulsión M1. Dosis de residuo 0.22[l/m ²].	60
Tabla N° 4.23: Carga Máxima. Cambio de Temperatura de 2° capa. Probetas con Emulsión M1.	61
Tabla N° 4.24: Tensión Promedio de Corte. Cambio de Temperatura 2° capa. Probetas con Emulsión M1.	61

Tabla N° 4.25: Dosis de Agua sobre Residuo.	61
Tabla N° 4.26: Carga Máxima. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con agua.	62
Tabla N° 4.27: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Agua.	63
Tabla N° 4.28: Dosis de Polvo sobre Residuo.	63
Tabla N° 4.29: Carga Máxima. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con polvo.	64
Tabla N° 4.30: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Polvo.	65
Tabla N° 5.1: Tensiones Corregidas. Probetas Monolíticas y Sin Riego.	66
Tabla N° 5.2: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión CSS - 1H.	67
Tabla N° 5.3: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión CRS - 1.	69
Tabla N° 5.4: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión Spramul ML.	70
Tabla N° 5.5: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión M1.	72
Tabla N° 5.6: Tensiones Corregidas. Testigos con Emulsión CRS-1.	73
Tabla N° 5.7: Comparación de Propiedades Físicas y Químicas de las emulsiones.	76
Tabla N° 5.8: Resultados Ensayos de Penetración y Viscosidad.	77
Tabla N° 5.9: Tensiones Corregidas. Cambio de Temperatura 2° capa. Probetas con Emulsión CRS - 1.	80
Tabla N° 5.10: Tensiones Corregidas. Cambio de Temperatura 2° capa. Probetas con Emulsión M1.	81
Tabla N° 5.11: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Agua.	82
Tabla N° 5.12: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Polvo.	83

CAPÍTULO 1

1.1. Introducción

Siendo Chile un país en vías de desarrollo y con intenciones de convertirse en un importante polo de atracción del hemisferio sur, tanto en términos económicos como turísticos, se hace necesario contar con una infraestructura terrestre y aérea capaz de soportar las demandas crecientes de un mundo globalizado.

En la última década se ha apreciado un importante aumento en la construcción de pavimentos a lo largo del territorio nacional, en Chile se han pavimentado más de 1500 Km. de calzadas con asfalto. Esto se ha visto impulsado principalmente por la ley de Concesiones, además del crecimiento y estabilidad del país.

Esta situación ha generado consumos que van desde las 80.000 Toneladas en los años 90, con un pick de alrededor de 300.000 toneladas en el año 98, hasta un promedio en los últimos 10 años, cercano a las 210.000 toneladas anuales [23].

El fuerte impacto dio como resultado un efecto transversal positivo, permitiendo la incorporación al mercado de nuevas tecnologías, y un desarrollo paralelo del parque de maquinarias relacionadas con la pavimentación asfáltica.

1.2. Presentación del Problema

Durante su vida útil los pavimentos asfálticos están sometidos a distintos tipos de esfuerzos.

El cálculo estructural de los distintos componentes se realiza suponiendo que existe una perfecta adherencia entre las distintas capas. Se asume que estas se comportan de manera monolítica. Sin embargo esto no ocurre en la realidad.

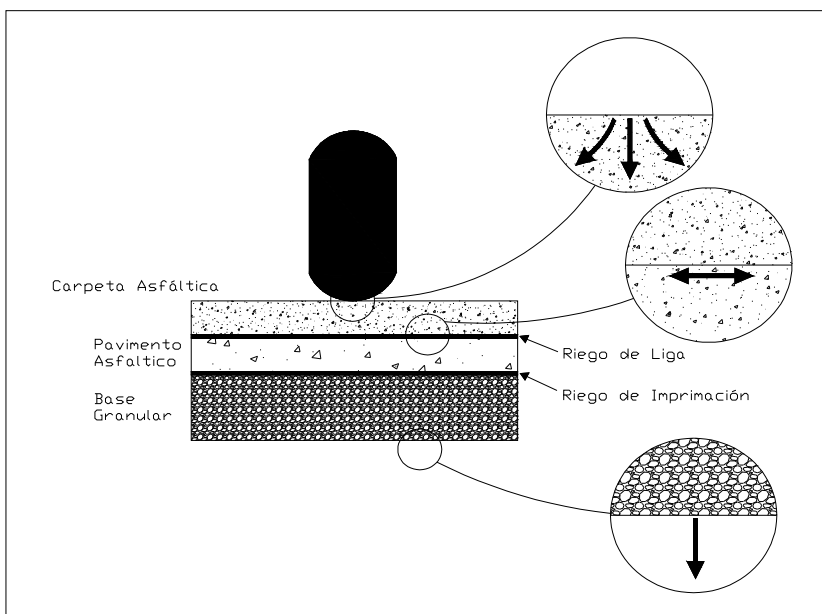


Figura N° 1.1: Esquema de distribución de Esfuerzos en un Pavimento Multicapas.

Problemas como “fisuras o grietas parabólicas” así como un “arrollamiento transversal”, son patologías que pueden ser atribuidas a una deficiencia en la adherencia de las capas de asfalto.

La calidad de los materiales, así como una correcta fase constructiva deberían asegurar el mejor comportamiento del pavimento terminado.

La importancia estructural de las emulsiones asfálticas utilizadas como “riego de liga” en pavimentos construidos con mezclas asfálticas en caliente ha sido predominantemente ignorado. Es así que una mala adherencia del riego de liga puede influir en una falla prematura de una carpeta asfáltica.



Figura N° 1.2: Falla de deslizamiento de carpeta superior



Figura N° 1.3: Fisura o grieta parabólica



Figura N° 1.4: Arrollamiento Transversal

Usualmente se utilizan emulsiones de quiebre lento del tipo CSS-1 o CSS-1H, diluidas en 1:1 a 1:2 partes de agua, a temperatura ambiente. Se aplica a recomendación del fabricante [2] o por costumbre en dosis entre 0,4 a 1,0 lt/m².

1.3. Justificación del Trabajo

En este contexto el Aeropuerto Arturo Merino Benítez de Santiago amplió recientemente su capacidad construyendo una segunda pista, utilizando un proyecto desarrollado conforme a las especificaciones y prácticas usuales; no obstante lo cual, a dos semanas de su inauguración, ésta presentó graves deficiencias en términos de adherencia entre las capas de la carpeta, lo que se tradujo en importantes agrietamientos por deslizamientos entre capas.

Las investigaciones realizadas para determinar las causas de esta falla concluyeron que estas se debieron a una deficiente adherencia entre las capas, quedando en evidencia la inexistencia de antecedentes sobre los factores que influyen en la obtención del monolitismo de la carpeta.

Si bien la experiencia derivada de la falla ocurrida en el aeropuerto ha permitido lograr un mayor conocimiento del estado actual de la pista, se hace necesario un estudio más sistemático que permita obtener rangos de resistencia al corte que se debieran esperar en las obras, variando las distintas mezclas, dosis, etc.

Una serie de pruebas de laboratorio han sido desarrolladas a nivel mundial, sin embargo no existen criterios unificados sobre las condiciones iniciales de estas, ni acerca de los equipos a utilizar. No existe literatura o normativa estandarizada que fije los requerimientos mínimos para este tipo de proyectos.

Una forma de medir la resistencia de adherencia entre dos capas de asfalto es someter a ensayos de corte directo probetas cilíndricas (testigos) extraídos de placas de mezcla asfáltica confeccionadas en dos capas simulando el proceso constructivo de una carpeta asfáltica (energía de compactación de las capas y riego de liga entre ellas).

Para este estudio se utilizará un nuevo ensayo de corte desarrollado en la Universidad de Cataluña, España, el LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona). El sistema es de fácil aplicación y se encuentra implementado parcialmente en el IDIEM.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar los factores que controlan la resistencia al corte y fijar los niveles de exigencia o requerimientos mínimos de resistencia al corte que se deben cumplir para conseguir el monolitismo en la construcción de carpetas asfálticas en caliente.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Analizar las variables relacionadas con el problema de adherencia. Establecer la importancia relativa de los distintos factores que intervienen en la resistencia al corte de la unión entre capas asfálticas de una carpeta.
- Obtener valores de referencia de resistencia al corte para la construcción de carpetas asfálticas multicapa.
- Proponer una especificación para el método de control de calidad que deben cumplir los sistemas adherentes a utilizar en la construcción de carpetas asfálticas en caliente, entregando valores de referencia para la aceptación de las obras.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes Generales

2.1.1. Importancia del Riego de Liga

En la construcción de un firme de una carretera se supone que las capas asfálticas van a estar totalmente unidas, trabajando de forma solidaria. Para ello, durante su construcción, se procede a la aplicación de un riego de adherencia o “riego de liga”, la cual es una aplicación ligera de emulsión asfáltica sobre un pavimento existente, para asegurar la adherencia entre la superficie asfáltica vieja y la nueva capa asfáltica que se superpone.

Dos características esenciales del riego de liga son: (a) debe ser muy delgado y (b) debe cubrir uniformemente el área a ser pavimentada de forma que el comportamiento de todas ellas sea lo más parecido a un elemento monolítico, Figura N° 2.1. Sin embargo, la experiencia ha puesto de manifiesto que esta unión no siempre se consigue, ocasionando deterioros prematuros en el firme y una reducción de su vida de servicio.

La adherencia final conseguida entre capas depende no sólo de cómo se haya realizado el riego, de que la dosis sea la apropiada, de que se haya adherido bien a la capa inferior, o de que el tráfico de obra no lo haya levantado, sino también de cómo se ha ejecutado la nueva capa. Sin embargo, durante la fase de construcción, esta propiedad apenas se controla. El control se reduce a una mera inspección visual del riego efectuado y al control de la dotación del mismo, pero no se verifica la calidad final conseguida en la adherencia de las capas, que es lo que en realidad se debería medir [14].

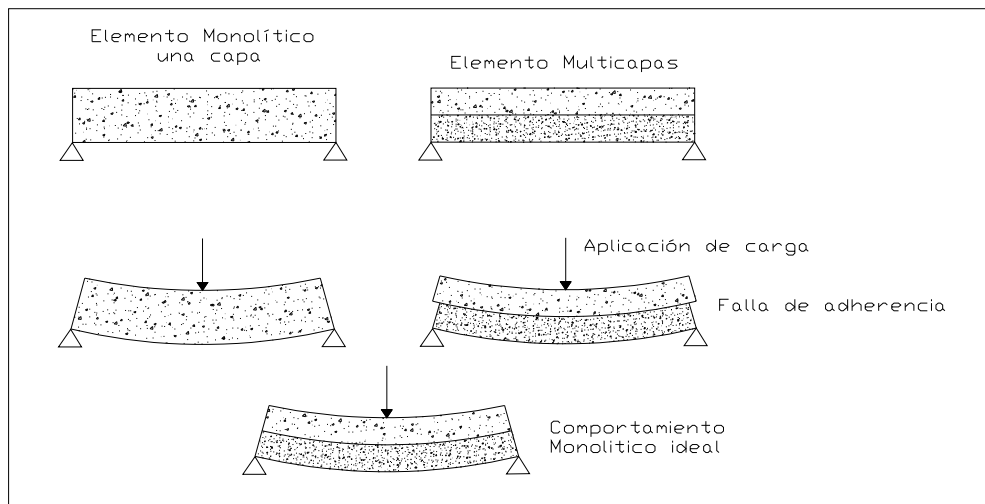


Figura N° 2.1: Comparación de Viga Monolítica y Viga Multicapa

Para cumplir este propósito la emulsión asfáltica es diluida en partes iguales con agua, lo que asegura un riego uniforme y ligero. Generalmente es suficiente para un riego de liga de 0,20 a 0,70 lt/m² (0,05 a 0,15 gal/yd²) de emulsión asfáltica diluida.

El trabajo debe organizarse de manera tal que no se aplique el riego de liga a una superficie mayor que la que vaya a cubrirse con el trabajo del día. Debe evitarse el paso sobre el riego de cualquier tránsito no esencial para la obra.



Figura N° 2.2: Aplicación de Riego de Liga. Camión bomba con barra esprayadora [5].

2.1.2. Las Emulsiones Asfálticas

Una emulsión asfáltica es una dispersión estable de pequeños glóbulos de asfalto en agua. Como el asfalto y el agua no se pueden mezclar, se hace necesario un agente emulsificante para lograr la disolución y combinación de los dos.

El emulsificante es una molécula formada por una cabeza iónica polar químicamente compatible con el agua y con una cadena hidrocarbonada químicamente compatible con el asfalto. En la emulsión los glóbulos de asfalto adquieren la carga eléctrica de la cabeza polar. En este caso podemos hablar de dos tipos, aniónicas (carga negativa) y catiónicas (carga positiva)

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

- De Rompimiento Rápido: Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos
- De Rompimiento Medio: Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, nivelaciones y sobrecarpetas.

- De Rompimiento Lento: Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.

2.1.2.1. Rompimiento de las Emulsiones Asfálticas

Cuando uno usa emulsiones asfálticas, es necesario tener control sobre la estabilidad de la emulsión, o sea, se tiene que poder controlar el rompimiento de la misma. Pasado un tiempo determinado, el cual depende de la situación en particular que se esté trabajando, las emulsiones tienen que desestabilizarse para que el asfalto se deposite como una capa sobre el material pétreo.

Este fenómeno de rompimiento o ruptura 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 como va perdiendo agua, pasa por una emulsión inversa en donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta, o sea que se forman pequeñas gotas de agua en el interior del asfalto, las cuales posteriormente, cuando se deposita la capa de asfalto, son eliminadas [18].

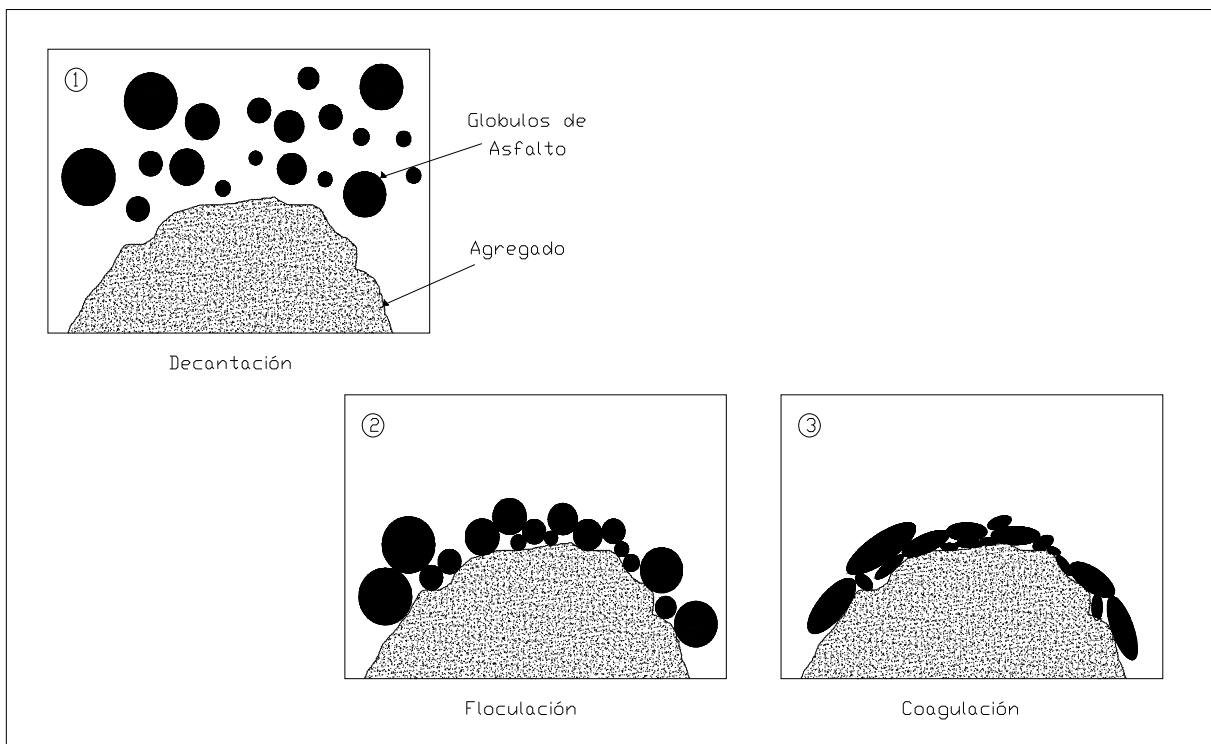


Figura N° 2.3: Etapas del Quiebre de una Emulsión [18].

2.2. Definición del procedimiento de ensayo a utilizar

Para evaluar el grado de adherencia entre dos capas asfálticas se han desarrollado fundamentalmente dos tipologías de ensayo: de tracción y de corte, ambos de cierta complejidad y por tanto de difícil aplicación en el control de las capas ejecutadas.

Una serie de estudios al respecto han sido recientemente iniciados. La “National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)” desde 2005 ha estado trabajando en determinar los métodos óptimos de aplicación, en la calibración de los equipos y procedimientos, en los tipos de carpetas asfálticas y materiales para diferentes tipos de riegos de liga. Se espera que el NCHRP y la agencia de Investigación y Transporte de Louisiana (Louisiana Transportation Research Center) terminen este estudio en Enero de 2008 [22].

Se describen, a continuación, una serie de ensayos realizados en distintas partes del mundo, así como algunas condiciones fijadas en cada uno de ellos. Entre los cuales se destaca el ensayo de corte LCB empleado en este trabajo.

2.2.1. Ensayo de Corte LCB

Para este estudio se utilizará un nuevo ensayo de corte desarrollado en la Universidad de Cataluña, España, el LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona) [15], de ejecución muy sencilla, capaz de medir la resistencia a las tensiones tangenciales provocadas por la aplicación de una fuerza de corte que se producen en la unión de dos capas asfálticas, adheridas o no por un riego de adherencia. También se mide la deformación de una de las capas respecto la otra.

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

El análisis de fuerzas se basa en el modelo el indicado en la Figura N° 2.4. La parte A se considera totalmente rígida, indeformable, mientras que la parte B representa la capa asfáltica superior. Se supone que se produce un esfuerzo de corte puro y que no existen esfuerzos de flexión.

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

$$\tau = \frac{P/2}{S}$$

τ : Tensión tangencial sobre la junta.

P: Carga aplicada.

S: superficie de la sección transversal de la probeta.

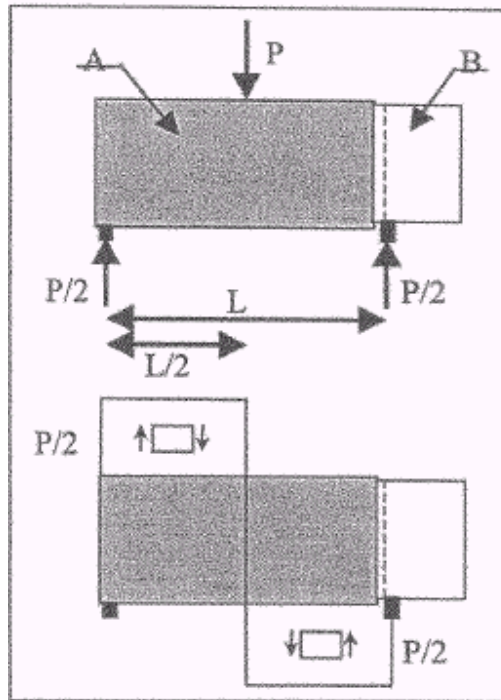


Figura N° 2.4: Esquema de fuerzas y tensiones actuantes sobre la disposición de la probeta.

2.2.1.1. Elaboración de las probetas

Las probetas fabricadas en laboratorio están formadas por dos capas asfálticas, entre las que se extiende el riego de adherencia a estudiar.

Las capas asfálticas se compactan por impacto, mediante el aparato Marshall, aplicando 100 golpes en la cara superior. Una vez realizada la primera capa, ésta se debe dejar enfriar. Para realizar el ensayo siempre en las mismas condiciones, de forma que no afecte el betún de la mezcla, se realiza un corte superficial de pocos milímetros de espesor.

Cuando la superficie cortada está seca, se extiende la dotación escogida de la emulsión a analizar mediante un pincel y se deja el tiempo suficiente para que la emulsión rompa. Luego, se vierte la mezcla bituminosa en caliente y se compacta la que será la capa superior. Finalmente, se extruye la capa superior de forma que la junta quede en el exterior del molde, a 5 mm de separación, Figura N° 2.5.

El mismo procedimiento de ensayo se puede aplicar sobre testigos obtenidos de obra. Los testigos, que como mínimo estarán formados por dos capas, se introducen en una mordaza cilíndrica, Figura N° 2.7, la cuál, mediante una serie de tuercas, permite confinarlos en la posición requerida, de forma análoga a las probetas en los moldes.

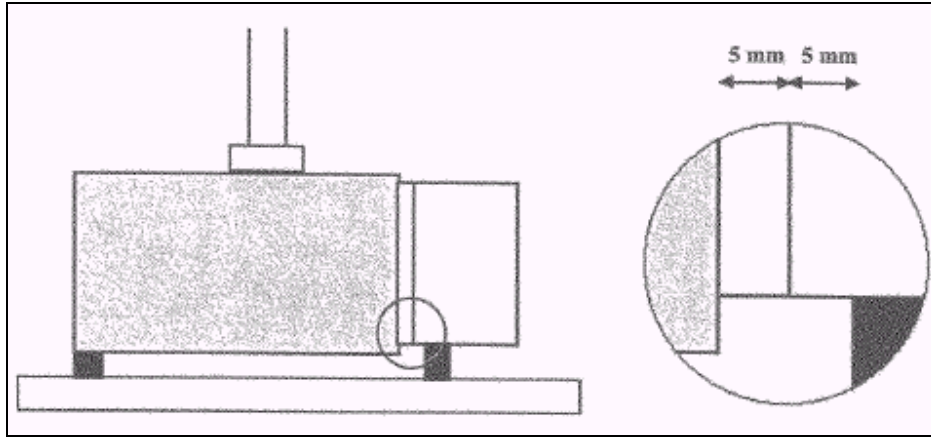


Figura N° 2.5: Disposición de la probeta en la prensa durante la realización del ensayo

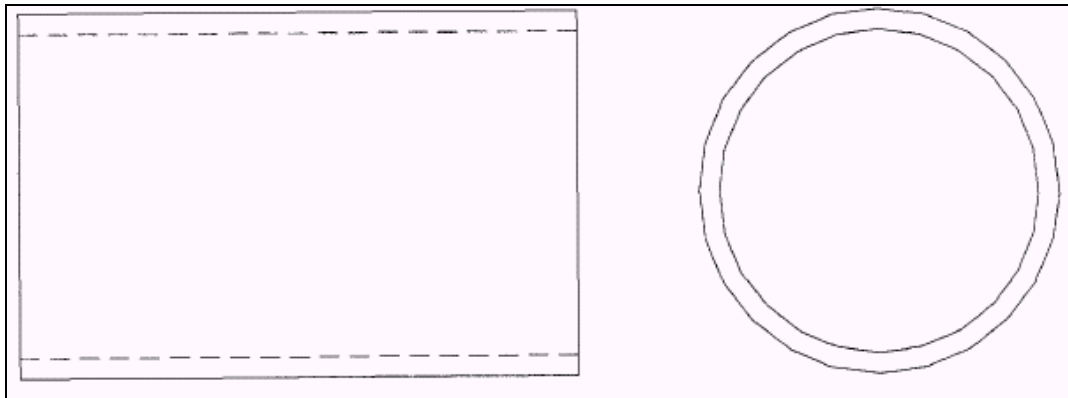


Figura N° 2.6: Moldes para la fabricación y el ensayo de probetas

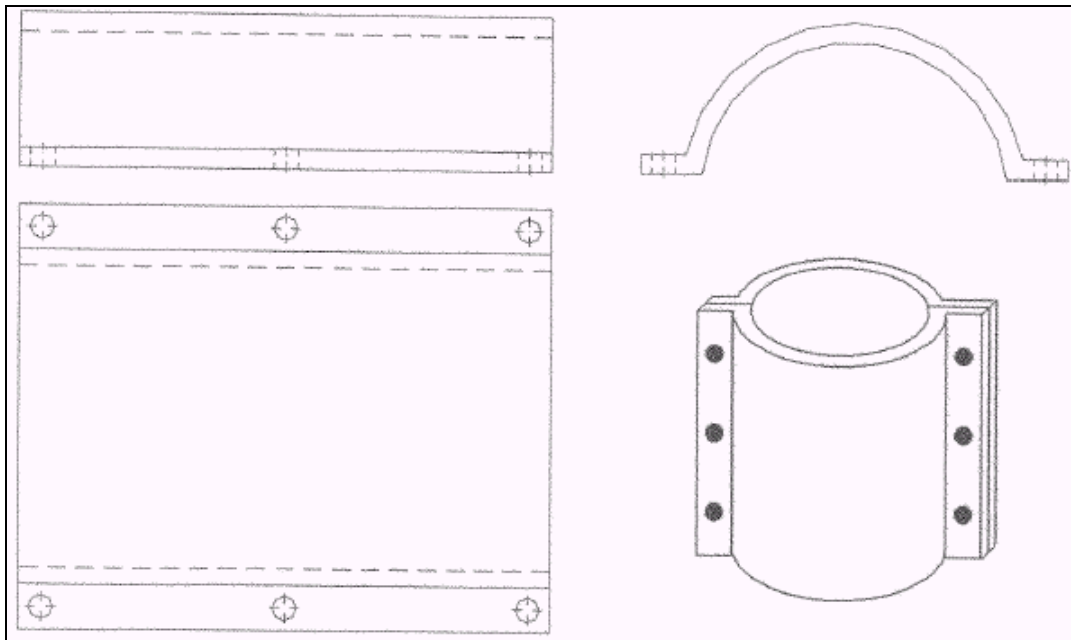


Figura N° 2.7: Mordazas para el ensayo de testigos.

2.2.1.2. Realización del ensayo

La ejecución del ensayo se lleva a cabo colocando las probetas o testigos sobre una base con dos puntos de apoyo separados 20 cm, Figura N° 2.8, que se coloca sobre el pistón de la prensa, aplicando una carga a velocidad de deformación constante de 1.27 mm/min.

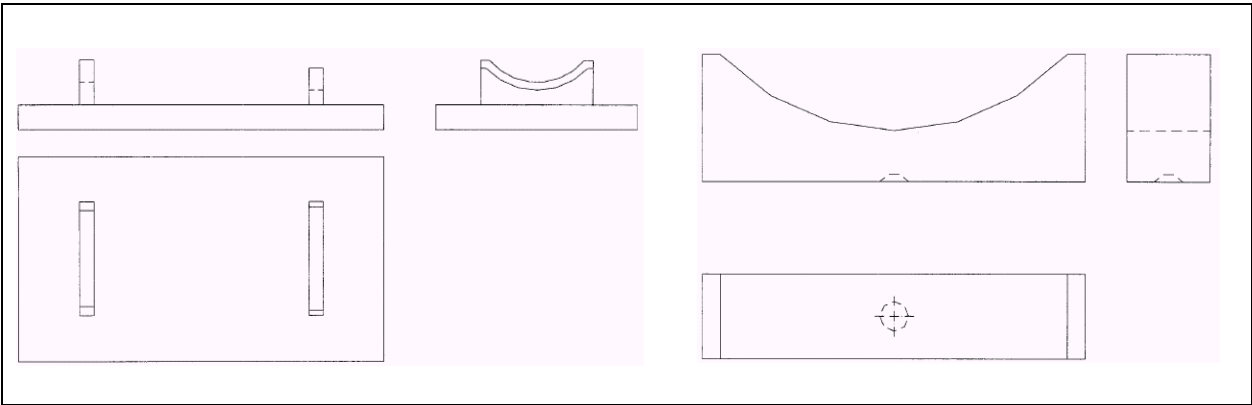


Figura N° 2.8: Bases para el ensayo de probetas y testigos.

2.2.1.3. Resultados del ensayo

Durante el ensayo se registra la variación de carga con el desplazamiento del pistón de la prensa mediante un equipo informático adecuado, determinándose:

- Resistencia máxima a cortante
- Deformación correspondiente a la resistencia máxima
- Deformación en rotura
- Energía de rotura

2.2.2. Ensayos de tracción Endacma (Intecasa)

El ensayo de tracción ENDACMA® (Investigación Técnica y Calidad, S.A., Barcelona) permite determinar la resistencia a tracción directa de un riego de adherencia aplicado entre dos capas de mezcla asfáltica. El dispositivo empleado para la realización de este ensayo es el que se muestra en la Figura N° 2.9 y que consiste en dos mordazas que permiten sujetar la probeta a la distancia mínima precisa para evaluar el riego de adherencia aplicado. Al igual que en el ensayo anterior, las probetas empleadas constan de dos capas de mezcla asfáltica y una de riego de adherencia.

Una vez preparada la primera capa de mezcla se dejan transcurrir 24 horas antes de aplicar la emulsión a ensayar que se deja curar durante otras 24 horas adicionales antes de compactar la segunda capa de mezcla [14].

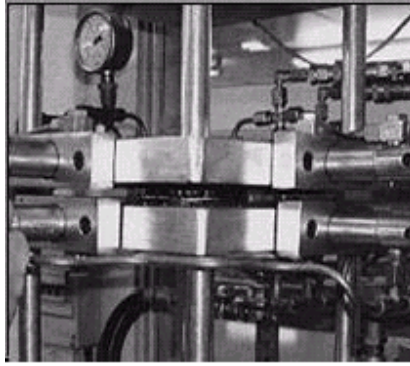


Figura N° 2.9: Dispositivo de tracción del ensayo ENDACMA®

Las condiciones fijadas para la realización de este ensayo han sido las siguientes:

- Temperatura: -5°C , $+25^{\circ}\text{C}$
- Velocidad de ensayo: 60 mm/min
- Dotación de emulsión: 350 gr/m^2 .

Este ensayo se utilizó principalmente por la concesionaria europea de autopistas Acesa (Abertis).

2.2.3. Ensayo de Corte Normalizado del Cedex

El ensayo de corte que ha puesto a punto el CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, España) es un procedimiento de ensayo que permite la medida de la resistencia al esfuerzo cortante a que una probeta cilíndrica es sometida en el plano transversal correspondiente al de aplicación del riego de adherencia [14].

El dispositivo de tipo mordaza empleado para la realización del ensayo permite la distribución de la carga aplicada de forma homogénea en toda la sección transversal que es evaluada. En la Figura N°2.10, se muestra el esquema del dispositivo empleado en este ensayo.

Desde el momento en que se empezó a trabajar en la puesta a punto de este ensayo se han evaluado diferentes condiciones de ensayo lo que está permitiendo la definición de este nuevo procedimiento. En este caso las probetas empleadas tienen un diámetro de 15,2 cm (6 pulgadas) a diferencia de los dos métodos anteriores en los que las probetas eran de 10,16 cm (4 pulgadas).

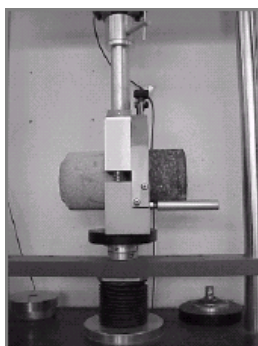


Figura N° 2.10: Dispositivo empleado en el ensayo de corte del CEDEX

Las condiciones fijadas se indican a continuación:

- Temperatura: -15°C, -5°C, +5°C, +20°C
- Velocidad de ensayo: 1,27 mm/min
- Dotación de emulsión: 800 gr/m².

Las probetas empleadas consisten en dos capas de mezcla asfáltica según se ha descrito anteriormente y una de riego de adherencia. La parte de la probeta sobre la que se aplica la emulsión se ha serrado con el fin de eliminar la película de ligante, aplicándose a continuación la dotación de emulsión. Se ha considerado un período de curado de la emulsión de 7 días previo a la compactación de la segunda capa de mezcla. La segunda capa de mezcla se compacta estáticamente con 17 toneladas de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma NLT-167. Por último y previamente a la realización del ensayo, las probetas se atemperan durante 4 horas a la temperatura considerada [14].

2.2.4. Ensayo de corte Swiss Standard

El Laboratorio Suizo de ensayos e investigación de materiales (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research) cuenta con un método y un criterio para evaluar la tensión de adherencia de pavimentos asfálticos multicapas usando testigos de 150 mm (6 inch) de diámetro. El método es el “Swiss Standard SN 671 961” y utiliza un dispositivo conocido como “LPDS tester”, Figura N° 2.11.

El ensayo es un simple ensayo de corte con una velocidad de carga de 50.8 mm/min (2.0 inch/min). La mínima fuerza de corte aceptada es de 15 kN (3372 lbf) para la adherencia entre la carpeta de rodado y la carpeta estructural, y de 12 kN (2698 lbf) para la adherencia entre la carpeta estructural y la base del camino [22].



Figura N° 2.11: Swiss LPDS Tester

2.2.5. Ensayo de corte Superpave Shear Tester

Este método evalúa la influencia de diferentes tipos de riego de liga, distintas dosis de aplicación y temperaturas en la interface de corte usando el “Superpave Shear Tester (SST)”, Figura N° 2.12. El aparato de corte tiene 2 partes que afirman la probeta durante el ensayo. El aparato se monta en el interior del SST y se le aplica carga constante a 50 lb/min (222.5 N/min) hasta que la probeta falle.

Mohammad et al [22] realizo ensayos con temperaturas de 25 y 55°C (77 y 131°F), utilizando cuatro emulsiones (CRS-2P, SS-1, CSS-1, y SS-1h) y dos tipos de carpetas asfálticas (PG 64-22 y PG 76-22M), aplicando cinco dosis de 0.0 a 0.9 lt/m² (0.0 a 0.2 gal/yd²).

Se obtuvo como resultado que la emulsión CRS-2P se comportaba de mejor manera en términos de resistencia y cuya dosis optima de aplicación era de 0.09 lt/m² (0.02 gal/yd²). Los ensayos también indicaron que se obtenían mejores resultados en las probetas ensayadas a 25°C que las ensayadas a 55°C, aproximadamente cinco veces más resistencia independiente de la dosis aplicada.



Figura N° 2.12: Caja de Corte con muestra preparada. Caja de Corte en SST.

2.2.6. Ensayo de corte usando maquina Marshall

En 2003, Sholar et al [22] en el “Florida Department of Transportation (FDOT)” desarrolló un dispositivo que puede ser usado en conjunto con la maquina Marshall para convertirla en una aparato capaz de realizar un ensayo de corte directo.

Inicialmente evaluaron la adherencia de una emulsión con dos cilindros metálicos, Figura N° 2.13, y el efecto de una temperatura de 25°C, usando una carga de 50.8 mm/min (2 inch/min). Posteriormente construyeron campos de prueba, se usaron tres proyectos con mezclas de distintas granulometrías. Las secciones fueron construidas con tres dosis de riego de liga y sin ningún tipo de riego. También se aplico agua sobre dos secciones para simular la lluvia.

Sus resultados indicaron que el agua reduce significativamente la adherencia de la sección. Además, todas las secciones ganan adherencia con el tiempo. El efecto de aplicar distintas dosis de riego entre los rangos de 0.091 a 0.362 lt/m² (0.02 a 0.08 gal/yd²) no fue consistente en los tres proyectos.

El Florida DOT usa este método para adherencia de las capas asfálticas cuando la integridad de los pavimentos esta cuestionada por realizarse su construcción durante condiciones de lluvia.



Figura N° 2.13: FDOT dispositivo de tensión.

2.2.7. Ensayo de corte ASTRA

En Italia, Santagata, Canestri y otros [22] han utilizado un aparato que se conoce como el “Ancona Shear Testing Research and Analysis (ASTRA)”, Figura N° 2.14 para estudiar el efecto de la temperatura y de la correcta adherencia en la interfaces de los pavimentos multicapa.

El aparato ASTRA aplica una carga normal a la muestra durante el corte que se realiza a una velocidad de 2.5 mm/min (0.1 inch/min)

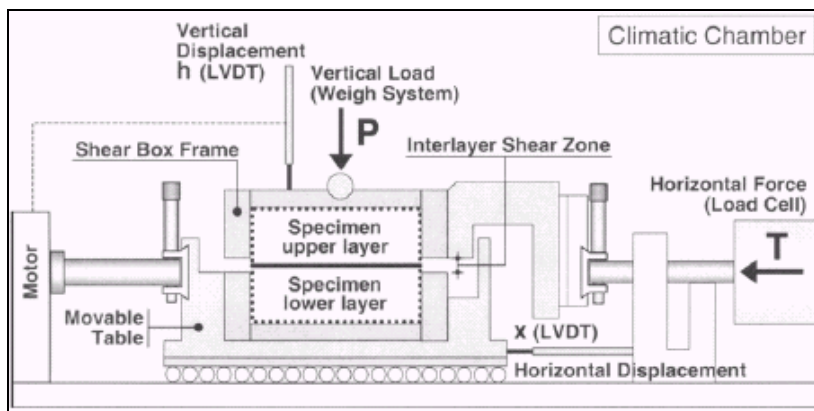


Figura N° 2.14: Caja de Corte ASTRA. Aparato para medir la tensión entre capas.

2.2.8. Ensayo de corte ATACKER

Otro test recientemente usado para medir la tensión de adherencia de riegos de liga es el ATACKER de Instroteck. Inc. [22], Figura N°2.15. El riego de liga es aplicado en una capa de metal, luego la muestra de pavimento asfáltico y el metal son unidos y así se genera el contacto con la superficie regada. La adherencia entre las superficies puede ser medida en modos de tensiones tangenciales o torsionales.



Figura N° 2.15: Dispositivo ATACKER para tensión entre capas con riego de liga.

2.3. Resultados de Ensayos a Testigos de distintas Obras de Chile

Recientemente el IDIEM ha realizado extracción de testigos asfálticos de doble capa a diferentes pavimentos asfálticos. En ellos se estudió la emulsión asfáltica CSS-1H de quiebre lento.

Lamentablemente la información obtenida es insuficiente en términos del diseño de las capas del pavimento y del control de la aplicación del riego.

Los siguientes son algunos de los resultados [33]:

Tabla N° 2.1: Tensiones Promedio Obras Chilenas.

Tipo Testigo	Tensión Promedio [MPa]	Dosis Aplicada [lt/m ²]
2CSF	0.74	0.26
Monolítico	0.99	
2CSF	0.33	s/c
2CF	0.7	s/c

- 2CSF: Testigo doble capa sin fresado.
- 2CF: Testigo doble capa con fresado.
- s/c: Sin control

2.4. Variables significativas a controlar

Se desprende del estudio llevado a cabo en el aeropuerto Pudahuel de Santiago de Chile que inicialmente se desconoce el real efecto de las múltiples variables que puede influir en el comportamiento del riego de liga aplicado en un pavimento asfáltico multicapa.

Se elegirán como variables de estudio aquellas que son controlables durante el proceso constructivo o que representan algún tipo de condición o posible problema durante esta etapa

Entre los factores que podrían controlar la resistencia al corte se eligieron los siguientes:

- Mezcla Asfáltica.
- Tipo de Emulsión.
- Grado de Dilución.
- Dosis de Riego.
- Tiempos de quiebre.
- Propiedades físicas y químicas de las emulsiones.
- Contaminación del Riego con Polvo.
- Contaminación del Riego con Agua.
- Temperatura de Compactación de la segunda capa.

CAPÍTULO 3: ETAPA EXPERIMENTAL

3.1. Programa de trabajo

El desarrollo del trabajo de investigación se realiza en dos etapas. La primera contempla la comparación de 4 emulsiones diferentes, tres de ellas de uso común y una en etapa experimental. Se busca obtener un óptimo de dosis por metro cuadrado y se definirá cual emulsión se comporta mas satisfactoriamente.

La segunda etapa considera someter la emulsión de mejor comportamiento a una serie de condiciones que pudieran afectar su desempeño como agente ligante entre las carpetas asfálticas.

Se usara el ensayo LCB con algunas modificaciones.

3.2. Elaboración de la mezcla asfáltica

Para la elección de la mezcla asfáltica a utilizar se tiene en cuenta una serie de características, entre ellas se destacan:

- Densidad de la mezcla.
- Que sea utilizada frecuentemente.
- Materiales componentes de fácil obtención.
- Que cumpla con las especificaciones técnicas de pavimentos de alto tráfico.

Granulometrías posibles son: una banda IV-12 Densa o una banda IV-A-12 Semidensa [11].

Tabla N° 3.1: Granulometría Densa.

Denominación: Banda IV-12			
ASTM	mm	Porcentaje que pasa en peso	
		min	Max
3/4"	20	100	100
1/2"	13	80	100
3/8"	10	70	90
N° 4	5	50	70
N° 8	2,5	35	50
N° 30	0,63	18	29
N° 50	0,315	13	23
N° 100	0,16	8	16
N° 200	0,08	4	10

Tabla N° 3.2: Granulometría Semidensa.

Denominación: Banda IV-A-12			
ASTM	mm	Porcentaje que pasa en peso	
		min	Max
3/4"	20	100	100
1/2"	13	80	95
3/8"	10	70	85
N° 4	5	43	58
N° 8	2,5	28	42
N° 30	0,63	13	24
N° 50	0,315	8	17
N° 100	0,16	6	12
N° 200	0,08	4	8

3.3. Caracterización de los materiales

3.3.1. Agregado mineral

Los materiales pétreos utilizados en la confección de las mezclas asfálticas en laboratorio son procedentes del Rio Maipo en Sector Los Morros. Sus características se detallan en las Tablas N° 3.3 y N° 3.4.

Tabla N° 3.3: Granulometría Áridos.

ARIDOS				
IDENTIFICACIÓN		M1	M2	M3
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		Gravilla 3/4"	Gravilla 1/2"	Polvo Roca 3/8"
PROCEDENCIA		Acopio Planta los Morros		
MUESTREADO POR		IDIEM		
FECHA RECEPCION MUESTRAS		31/08/06	31/08/06	31/08/06
TAMIZ		GRANULOMETRÍA		
ASTM	mm	PORCENTAJE QUE PASA EN PESO (%)		
3/4"	20	100	100	100
1/2"	13	39	100	100
3/8"	10	11	92	100
N° 4	5	2	12	96
N° 8	2,5	2	4	70
N° 30	0,63	1	2	33
N° 50	0,315	1	2	24
N° 100	0,16	1	2	17
N° 200	0,08	1	1	12

Tabla N° 3.4: Constantes Físicas e Hídricas de los Áridos.

CONSTANTES FISICAS E HÍDRICAS				
IDENTIFICACIÓN		M1	M2	M3
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL		Gravilla 3/4"	Gravilla 1/2"	Polvo Roca 3/8"
DENSIDAD REAL SECA	(kg/m³)	2,694	2,691	2.681
DENSIDAD NETA	(kg/m³)	2,766	2,772	2.748
ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	0.96	1.08	0.91
DENSIDAD APARENTE SUELTA	(kg/m³)	1.430	1.510	1.631
PARTICULAS CHANCADAS	(%)	100	100	100
PARTICULAS LAJEADAS	(%)	1.3	1.5	1.1
ÍNDICE DE LAJAS	(%)	17.2	21.9	23.7
ÍNDICE DE PLASTICIDAD		---	---	NP
EQUIVALENTE ARENA	(%)	---	---	82.0

3.3.2. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico utilizado en la confección de las mezclas asfálticas fue del tipo CA-24 [3] y fue proporcionado por el Idiem. Sus características se detallan en la Tabla N° 3.5.

Tabla N° 3.5: Características del Cemento Asfáltico.

Ensayos		M-1	Requisito
Viscosidad Absoluta a 60°C	P	3167	Mín. 2400
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	150	Mín. 100
Ensayo de la mancha, 30% Xilol	% xilol	Negativo	Máx. 30
Punto de inflamación	°C	311	Mín. 232
Punto de ablandamiento	°C	49.2	Informar
Indice de penetración	IP	-1.0	Mín. -1,5 - Máx.+1,0
Solubilidad en Tricloroetileno	%	99.9	Mín. 99
Horno rotatorio			
Pérdida por Calentamiento	%	0.1	Máx. 0.8
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	150	Mín. 100
Viscosidad a 60°C	P	8899	Informar
Indice de durabilidad	---	2.8	Máx. 3.5
Curva de Viscosidad			
Viscosidad Brookfield 120°C, S:21, 30 rpm, % torque:73	cP	1218	Informar
Viscosidad Brookfield 135°C, S:21, 90 rpm, % torque: 95	cP	527	Informar
Viscosidad Brookfield 150°C, S:21, 100 rpm, % torque: 52.6	cP	263	Informar

3.4. Dosificación de la Mezcla Asfáltica

Obtenidas las propiedades de los materiales se efectúa el diseño de la mezcla. Se utiliza el método Marshall aplicable en mezclas asfálticas en caliente de los tipos densas y semidensas, el cual no es aplicable en mezclas de graduación abierta [12].

El método Marshall permite obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico en términos porcentuales (%) en relación al peso del agregado pétreo.

Tabla N° 3.6: Parámetros de Dosificación Marshall.

PARAMETROS MARSHALL							
							RANGOS
BITUMEN CA 60-80	(% C/r ag.)	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	
DENSIDAD	(kg/m ³)	2,380	2,393	2,397	2,395	2,389	
HUECOS	(%)	5.4	4.3	3.5	2.9	2.5	4 - 6
VAM	(%)	15.6	15.6	15.8	16.3	16.9	MIN 14
FLUENCIA	(0,01")	11.8	12.5	13.4	15.2	17.0	8-16
ESTABILIDAD	(N)	11,782	12,672	12,908	12,530	11,612	MIN 9.000
HUECOS LLENOS	(%)	65.4	72.6	78.2	82.3	85.1	
DMM	(kg/m ³)	2,516	2,499	2,483	2,467	2,451	

MEZCLA DE TRABAJO			
ASTM	mm	Banda IV - 12	
		min	max
3/4"	20	100	100
1/2"	13	82	92
3/8"	10	73	83
N° 4	5	48	58
N° 8	2.50	34	42
N° 30	0.63	15	21
N° 50	0.315	10	16
N° 100	0.16	8	12
N° 200	0.08	5.2	8.2

OPTIMO DE ASFALTO		
OPTIMO SEGÚN DENSIDAD		6.0
OPTIMO SEGÚN ESTABILIDAD		6.0
OPTIMO PARA 5 % DE HUECOS		5.2
PROMEDIO		5.7
BITUMEN CA 60-80	(% C/r ag.)	5.7 ± 0.3
DENSIDAD MARSHALL	(kg/m ³)	2,395
TEMPERATURA INICIO COMP.	(°C)	Min 135
TEMPERATURA DE MEZCLADO	(°C)	154 ± 3

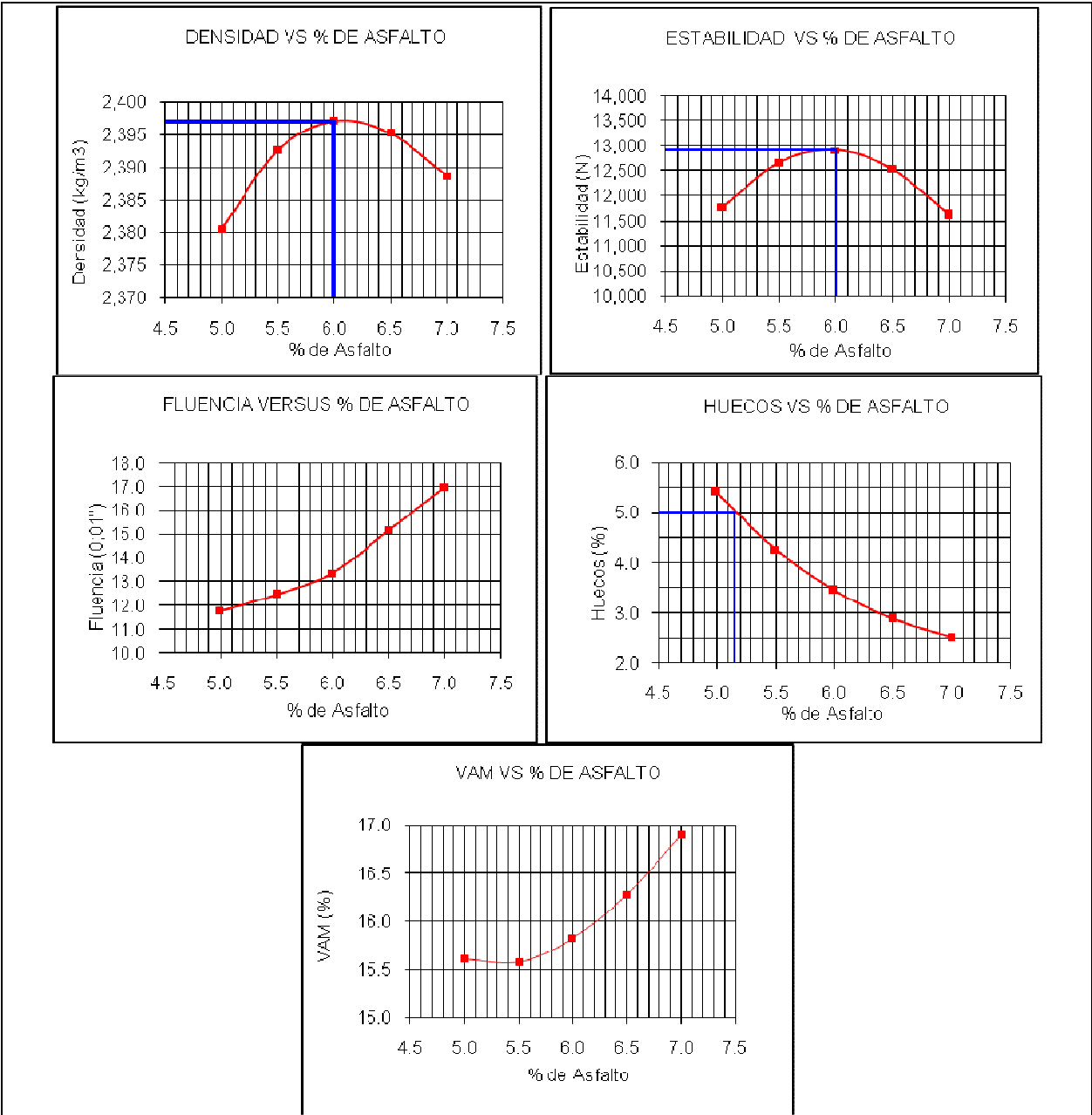


Figura N° 3.1: Gráficos de Dosificación Marshall.

3.5. Descripción de las emulsiones a utilizar

Se emplearan 4 tipos de emulsiones, todas con un mismo rango de viscosidad para no introducir otro tipo de variables. El “tiempo abierto” o tiempo de curado será de 20 hrs para todas las emulsiones, independiente de sus características particulares.

Las emulsiones empleadas son las siguientes:

- De quiebre lento (CSS -1H). Que será diluída con agua a razón 1:1.
- De quiebre rápido (CRS – 1). Que será diluída con agua a razón 1:1.
- Con Polímeros (SPRAMUL ML). Aún cuando el fabricante recomienda no diluir, será diluída con agua a razón 1:1 para lograr que todos los riegos de liga aplicados tengan un porcentaje de residuo similar.
- Experimental (M1). Que no se diluirá, ya que será formulada con porcentajes de residuo comparables con las emulsiones diluidas anteriormente descritas.

3.5.1. Emulsión CSS-1H

Es una emulsión catiónica de quiebre lento, color café y estado normal liquido. De aplicación en frio y de excelente afinidad con la mayoría de los agregados pétreos que existen. Se aplica como riego de liga sobre pavimentos de hormigón o asfalto, en rellenos de grietas y juntas, así como en rellenos en sellos masivos denominados Slurry Seal o “Lechadas asfálticas”. La “H” indica que se utilizó un asfalto mas duro para su fabricación [29].

Tabla N° 3.7: Certificado Control de Calidad Emulsión CSS - 1H.

ENSAYES	Resultados	Especificación	Norma
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, (s)	36	Min. 20 - Máx 100	NCh 2334-98
Estabilidad al almacenamiento, 1 día, (%)	0.02	Máx. 1	NCh 2348-98
Carga de Partícula	Positiva	Positiva	NCh 2348-98
Mezcla por cemento, (%)	0.02	Máx. 2.0	NCh 2348-98
Ensayo de Tamizado, (%)	0.02	Máx. 0.10	NCh 2348-98
DESTILACIÓN			
Residuo (%)	63.8	Min. 57	NCh 2348-98
ANÁLISIS AL RESIDUO			
Penetración a 25°C, 100g, 5s, (0.1 mm.)	50	Min. 40 - Máx 90	NCh 2340-99
Ductilidad de Residuo a 25°C, 5cm/min, (cm)	> 150	Min. 40	NCh 2342-99
Solubilidad en tricloroetileno, (%)	99	Min. 97.5	NCh 2341-99
Ensayo de la mancha Hep./Xilol, (% xilol)	< 25	Máx. 25	NCh 2343-99

3.5.2. Emulsión CRS-1

Es una emulsión catiónica de quiebre rápido, color café y estado normal líquido. De aplicación en frío, se utiliza principalmente como relleno de juntas y grietas o como riego por penetración de pavimentos de hormigón o de asfalto [29].

Tabla N° 3.8: Certificado Control de Calidad Emulsión CRS - 1.

ENSAYES	Resultados	Especificación	Norma
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, (s)	79	Min. 20 - Máx 100	NCh 2334-98
Estabilidad al almacenamiento, 1 día, (%)	0.4	Máx. 1	NCh 2348-98
Carga de Partícula	Positiva	Positiva	NCh 2348-98
Demulsibilidad (dioctil sulfo de Na), (%)	64.6	Máx. 40	NCh 2348-98
Ensayo de Tamizado, (%)	0	Máx. 0.10	NCh 2348-98
DESTILACIÓN			
Aceite, (%)	0.5	Máx. 3.0	NCh 2348-98
Residuo (%)	65	Min. 60	NCh 2348-98
ANÁLISIS AL RESIDUO			
Penetración a 25°C, 100g, 5s, (0.1 mm.)	116	Min. 100 - Máx 250	NCh 2340-99
Ductilidad de Residuo a 25°C, 5cm/min, (cm)	> 150	Min. 40	NCh 2342-99
Solubilidad en tricloroetileno, (%)	99.5	Min. 97.5	NCh 2341-99
Ensayo de la mancha Hep./Xilol, (% xilol)	< 25	Máx. 25	NCh 2343-99

3.5.3. Emulsión Spramul ML con polímeros

Es una emulsión cuyas propiedades mecánicas del residuo han sido modificadas y mejoradas respecto del asfalto base. Esta mejora se consigue por la acción de sustancias macromoleculares que se incorporan en forma de látex a la fase acuosa.

Las características que se mejoran son: la susceptibilidad térmica, elasticidad, cohesividad, aumenta la flexibilidad a bajas temperaturas, la tenacidad y mejora la resistencia al envejecimiento [29].

Tabla N° 3.9: Certificado Control de Calidad Emulsión Sparamul ML.

ENSAYES	Resultados	Especificación	Norma
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, (s)	37	Min. 20 - Máx 50	NCh 2334-98
Carga de Partícula	Positiva	Positiva / Negativa	NCh 2348-98
Residuo por Evaporación, (%)	69.5	Min. 62	MC 5.405.201.A
Ensayo de Tamizado, (%)	0.06	Máx. 0.10	NCh 2348-98
ANÁLISIS AL RESIDUO			
Penetración a 25°C, 100g, 5s, (0.1 mm.)	59	Min. 50 - Máx 90	NCh 2340-99
Punto de Ablandamiento, (°C)	59	Min. 53	NCh 2337-98
Ductilidad de Residuo a 25°C, 5cm/min, (cm)	62	Min. 40	NCh 2342-99
Indice de Penetración, (IP)	1.3	Min. 1.0	P.Abl./Pen
Recuperación Elástica a 13°C, 20 cm, 1hr, (%)	56	Min. 50	MC. 8.302.19
Recuperación Elástica por Torsión a 25°C, (%)	30	Min. 20	NLT 329-91
Viscosidad Brookfield 60°C S,29 rpm, 1.0 Torque, 91.2 (cP)	914000	Informar	ASTM D4402-02

3.5.4. Emulsión Experimental M1

Usualmente se desarrolla una emulsión catiónica de quiebre rápido, color café y estado normal líquido. Tradicionalmente es conocido y aceptado el problema de pegajosidad y manchado de las emulsiones tradicionales. Estas condicionantes, y el uso cada vez más común en distintos países desarrollados [14] de emulsiones termo-adherentes hace interesante el estudio y desarrollo de estas.

La siguiente es la formulación de la emulsión experimental empleada [33]:

Tabla N° 3.10: Formulación Emulsión Experimental M1.

Componentes	% en Peso
Asfalto CA14 + 3% Licomont BS 100 ¹	30
Redicote E-4868 ²	1.2
Ácido Clorhídrico	0.16
Agua	Completar
pH	1.0 – 1.5

¹ Licomont BS 100: Nombre comercial de Cera modificadora de bitumen asfáltico. Actúa rebajando la viscosidad del asfalto y endureciéndolo. Fabricado por Clariant International Ltd. Pigments & Additives Division.

² Redicote E-4868: Nombre comercial de Emulsificante Asfáltico Catiónico utilizado para la formulación de Emulsiones Asfálticas de quiebre lento. Fabricado por Akzo Nobel Chemicals Inc.

Tabla N° 3.11: Certificado Control de Calidad Emulsión Experimental M1.

ENSAYES	Resultado	Especificación por Definir
Viscosidad Saybolt Universal, SSU	24	-
Tamizado, %	0.02	-
Carga partícula	Positiva	-
% Residuo Por Destilación	26	-
Penetración Residuo, dmm	56	-
Punto Ablandamiento	60	-
Recuperación elástica 13°C, Duct. %	53	-
Índice de Penetración, IP	1.32	-

3.6. Aplicación de Riego Liga

Para simular el proceso de aplicación mediante un camión distribuidor con una barra esprayadora, se utilizará una pistola para pintar y un equipo compresor.

Se realizaron pruebas de pulverización sobre distintas superficies con el fin de calibrar y ajustar el “abanico” de la pistola.

Se logró aplicar dosis desde 0,05 lt/m² de emulsión hasta valores cercanos al 0,5 lt/m².



Figura N° 3.2: Aforo y Calibración del flujo de Pistola.



Figura N° 3.3: Pruebas sobre distintas Superficies.

En función de los resultados obtenidos se confeccionaron tres bandejas metálicas de 30x30 cm. de lado con 3 perforaciones cada una, para poder colocar las probetas con sus moldes y aplicar las dosis de emulsión de manera controlada.



Figura N° 3.4: Bandeja Metálica con 3 probetas preparadas para aplicación de riego.

3.7. Construcción de Probetas

3.7.1. Descripción del trabajo

Para reproducir el proceso que se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas durante la aplicación del Riego de Liga, es que se confeccionaran probetas usando la metodología y los implementos Marshall para obtener dos capas de mezcla asfáltica adheridas por algún tipo de emulsión conocida.

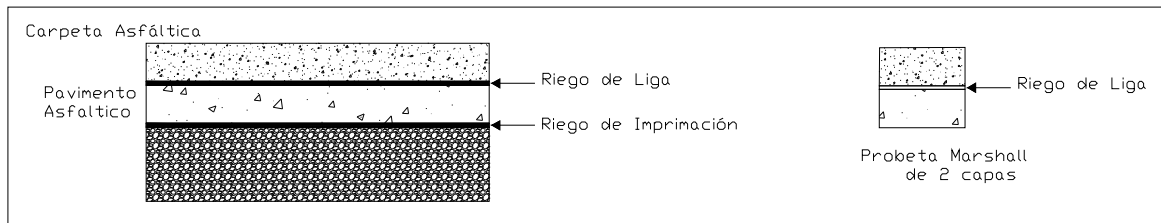


Figura N° 3.5: Comparación entre carpetas asfálticas en terreno y probeta doble capa.



Figura N° 3.6: Molde, Collarín y Martillo Marshall.

3.7.2. Diseño utilizado

Se utilizara una mezcla asfáltica IV-12 (densa) según Manual de Carreteras Vol. 5, sección 5.408 empleada comúnmente en obra.

Las probetas se confeccionaran con un 5,7% de cemento asfáltico C24 – Shell según el diseño Marshall obtenido.

Tabla N° 3.12: Diseño Marshall Óptimo.

Diseño Óptimo 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

La granulometría para las probetas es la siguiente:

Tabla N° 3.13: Granulometría de las capas de la probeta Marshall.

Material	3/4"	1/2"	P.Roca	
Porcentaje	22%	26%	52%	
	242 [gr]	286 [gr]	572 [gr]	1100 [gr]
				Probeta Marshall
Tamiz	% Pasa	% Retenido	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

Dadas las características de los moldes utilizados, Figura N° 3.6, para la primera capa se usaran 1100 gr y para la segunda 550 gr.

Para las probetas Wheel Tracking se realizó la corrección de densidad correspondiente [7] y se calculó la granulometría del pastelón asfáltico.

Tabla N° 3.14: Densidad Marshall Corregida.

Muestra	N°	1
Cemento Asfáltico	D/mm	CA24
Criterio de Mezcla	%	99%
Ligante	%	5.70
Volumen Molde	(cm ³)	4.59
Densidad Marshall	Kg/m ³	2395
Den.Marshall corregida	Kg/m ³	2371
Peso Mezcla	gr	10883
Peso Ligante	gr	587
Peso Árido	gr	10296

Tabla N° 3.15: Granulometría de la probeta WTT.

Material	3/4"	1/2"	P.Roca
Porcentaje	22%	26%	52%
	2265 [gr]	2677 [gr]	5354 [gr]
			10296 [gr]
			Probeta WT
Tamiz	% Pasa	% Retenido	1100 [gr]
1"	100	0	0
3/4"	100	0	0
1/2"	87	13	1338
3/8"	78	9	927
N° 4	53	25	2574
N° 8	38	15	1544
	Bajo 8		3912
		Total	10296

3.7.3. Metodología para la construcción de probetas

Las probetas se construirán siguiendo principalmente el método indicado por el ensayo de corte LCB con algunas modificaciones en función de los requerimientos del estudio.

- 1) Utilizando los moldes y equipos de compactación Marshall se seguirán los siguientes pasos:
- 2) Pesar y acondicionar los elementos según el diseño Marshall elegido.
- 3) Mezclar 1100 gr. de árido con un 5.7% de asfalto a la temperatura que indique el diseño. Compactar la primera capa, por una sola cara, con 150 golpes. Dejar enfriar la probeta
- 4) Extruir parcialmente la probeta hasta que la parte superior sobresalga aproximadamente 2mm. del borde del molde.
- 5) Colocar la bandeja metálica y sellar los bordes con silicona caliente. Aplicar la dosis de riego elegida y esperar a que quiebre (detalle se explica en Cap. 3.7.4).
- 6) Colocar el collarín sobre el primer molde. Mezclar 550 gr. de árido con un 5.7% de asfalto a la temperatura que indique el diseño y compactar la segunda capa con 75 golpes por la cara superior. Dejar enfriar la probeta.
- 7) Extruir completamente la probeta e identificarla.

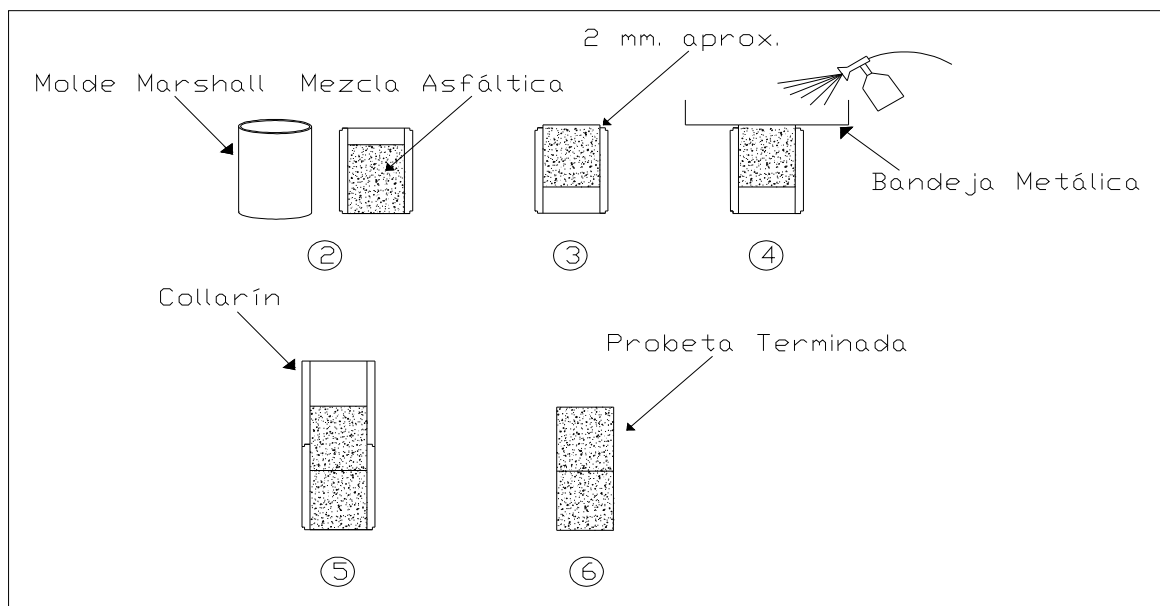


Figura N° 3.7: Construcción de Probeta Asfáltica de doble capa.

3.7.4. Metodología de Aplicación de Riego Liga

- 1) Para poder determinar la dosis que se colocará, es necesario conocer el flujo que el equipo (pistola y compresor) es capaz de generar, así como el porcentaje de residuo de la emulsión utilizada y si es necesario diluirla o no.
- 2) Por ejemplo, si utilizamos la emulsión de quiebre lento CSS-1H cuyo porcentaje de residuo es de un 63.8% y la cual es necesario diluir, realizaremos los siguientes pasos:
- 3) Aforar la pistola para comprobar el flujo real del momento.

Tabla N° 3.16: Ejemplo de Aforo Flujo de salida Pistola.

Ensayo	Tiempo [s]	H2O [gr]	Q [lt/s]
1	10.0	41.89	0.0042
2	10.0	41.38	0.0041
3	10.0	40.82	0.0041

- 4) En función del tiempo y del área de la bandeja, calcular la cantidad de solución por m² y luego, aplicando el porcentaje de residuo, calcular la dosis aplicada.

Tabla N° 3.17: Ejemplo de Dosis de Riego.

Tiempo [seg]	Solución 1:1	R. A. [lt/m ²]
5	0.230	0.073
10	0.460	0.147
15	0.689	0.220
20	0.919	0.293
25	1.149	0.367
30	1.379	0.440

Ej: $0.0041[\text{lt/s}] \times 5[\text{s}] / (0.3 \times 0.3)[\text{m}^2] = \mathbf{0.23}[\text{lt/m}^2]$ de solución de riego

(50% H2O, 50% emulsión y un 63.8% de residuo)

$$\implies 0.23[\text{lt/m}^2] / 2 \times 0.638 = \mathbf{0.073}[\text{lt/m}^2] \text{ de residuo asfáltico}$$

- 5) Dado que el abanico de la pistola es de dimensiones mucho menores que la bandeja, es necesario “distribuir el tiempo elegido en distintas manos”. Se divide imaginariamente la bandeja en 5 zonas de igual dimensión y se “reparte el tiempo elegido en cada zona”, Figura N° 3.8.
- 6) Ej.: Si elegimos aplicar 0.15 lt/m² de riego, tenemos que dividir los 10 seg en las 5 zonas, lo que nos deja 2 seg por zona para distribuir el riego de manera homogénea. Se debe ir moviendo la pistola de izquierda a derecha a velocidad constante hasta completar el tiempo.

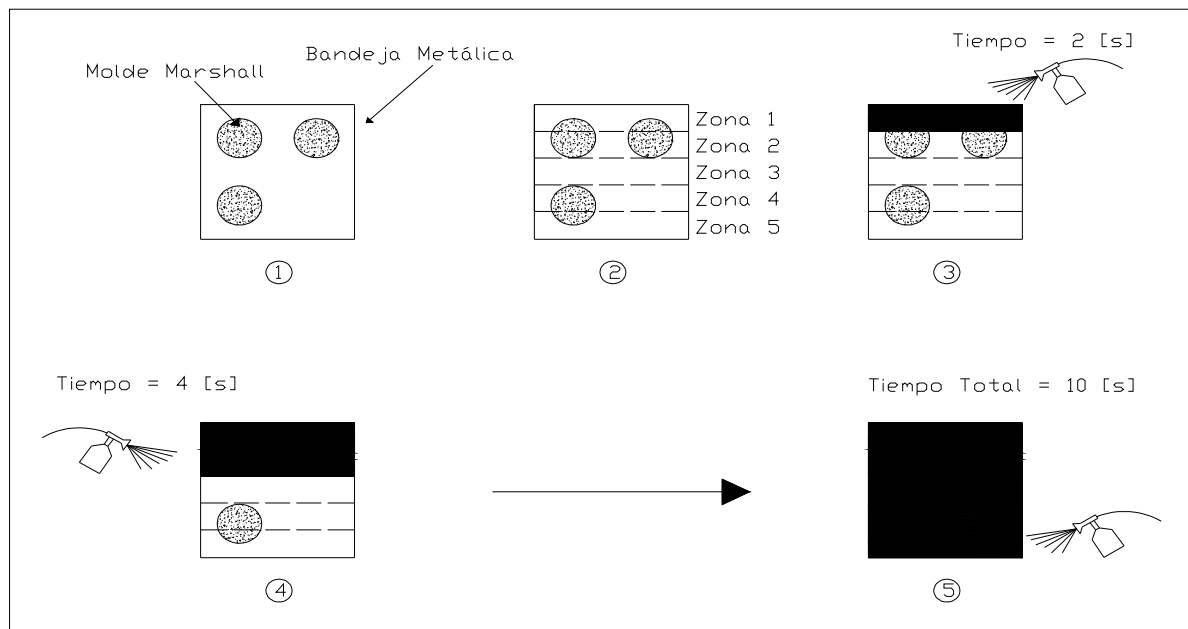


Figura N° 3.8: Esquema de Aplicación de Riego de Liga.

- 7) Previamente los bordes de los moldes en contacto con la bandeja metálica se sellan con silicona caliente para evitar algún tipo de filtración que altere las dosis aplicadas. Además se deben disponer sobre una superficie nivelada y firme
- 8) Una vez aplicado el riego, este se deja reposar por 20 horas para que la emulsión quiebre (la cantidad de horas depende de la programación creada para la confección de probetas).
- 9) Pasado el tiempo de curado se compacta la segunda capa de mezcla.

3.7.5. Metodología para la obtención de testigos

- 1) Utilizando los moldes y equipos de compactación Wheel-Tracking [7] se seguirán los siguientes pasos:
- 2) Pesar y acondicionar los elementos según el diseño Marshall corregido.
- 3) Mezclar 10296 gr. de árido con un 5.7% de asfalto a la temperatura que indique el diseño. Compactar la primera capa, cumpliendo con los ciclos usuales. Dejar enfriar la probeta
- 4) Colocar el marco metálico y sellar los bordes con silicona caliente. Aplicar la dosis de riego elegida según metodología explicada en Cap. 3.7.4.
- 5) Retirar el marco metálico y los 4 pernos del molde, procurando no desarmar el conjunto.
- 6) Colocar un segundo molde sobre el primero y asegurar los extremos con los pernos mas largos.

- 7) Repetir el paso N°3.
- 8) Desmoldar completamente el pastelón.
- 9) Utilizando una testiguera extraer, en lo posible, cuatro testigos por pastelón.

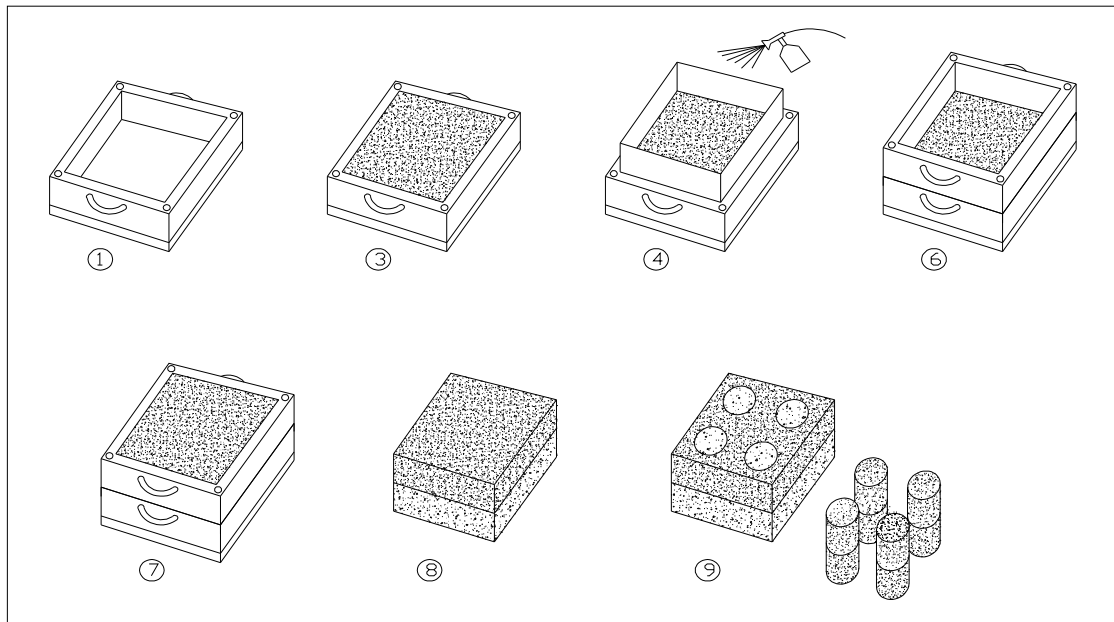


Figura N° 3.9: Esquema de Construcción de Probetas Wheel Tracking.

3.7.6. Metodología de ensayos

- 1) Una vez obtenidas las probetas (o los testigos), se dejan por un mínimo de 4 horas a una temperatura de 20°C en un laboratorio acondicionado a esa temperatura o en el interior de un horno capaz de mantener esas condiciones.
- 2) Transcurrido ese tiempo, se le coloca a la primera probeta las mordazas cilíndricas para el ensayo, Figura N° 2.7, la que mediante una serie de tuercas, permite confinarla en la posición requerida. La junta de las dos capas asfálticas debe quedar en el exterior del molde, a 5 mm de separación, Figura N° 2.5.
- 3) La ejecución del ensayo se lleva a cabo colocando las probetas o testigos sobre una base con dos puntos de apoyo separados 20 cm, Figura N° 2.8, que se coloca bajo el pistón de la prensa. Se coloca un micrómetro sobre la junta para registrar la deformación.
- 4) La carga vertical se debe aplicar en el centro de la mordaza a velocidad de deformación constante de 1,27 mm/min.
- 5) Durante el ensayo de corte es necesario registrar los valores de deformación y carga cada 10 seg, esto hasta lograr la rotura de la probeta.

- 6) Terminado el ensayo, se retira la mordaza y, si fuera necesario, se registra alguna característica especial de la junta rota. Luego se repite el procedimiento en los demás ensayos.

3.7.7. Obtención de resultados

Para obtener los datos de carga, deformaciones y tensiones tangenciales máximas se realizaran las siguientes etapas:

- 1) Registrados todos los datos de deformación en pulgadas y los valores de carga en kilos cada 10 segundos, se grafican cada una de las curvas de Deformación v/s Carga y se agrupan las curvas que corresponda.
- 2) Se selecciona la carga máxima y se realizan las siguientes correcciones:

$$CL = -6 \times 10^{-11} \times LC_{MAX}^3 - 2 \times 10^{-6} \times LC_{MAX}^2 + 1,0122 \times LC_{MAX} - 2,0317$$

$$PT = PC + PP$$

$$CT = PT + CL$$

$$CT_{KN} = \frac{CT}{2} \times \frac{9,8}{1000}$$

Donde:

LC_{MAX} : corresponda a la carga máxima o carga de rotura, expresada en [kg].

CL : Lectura de carga máxima corregida en función de las características de la prensa utilizada.

PP : Peso propio de cada probeta, expresada en [kg].

PC : Peso complementario que corresponde a la mordaza metálica, al micrómetro y al soporte metálico para aplicar la carga, expresada en [kg].

PT : Peso total adicional a la carga de la prensa, expresada en [kg].

CT : Carga total aplicada sobre la “viga” formada por la probeta, expresada en [kg].

CT_{KN} : Carga total aplicada, expresada en [kN].

Luego se calcula la tensión en el plano de corte:

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$\tau_K = \frac{CT_{KN}}{A}$$

$$\tau = \tau_k \times \frac{9,8}{100}$$

Donde:

A : Área de la sección transversal de la probeta cilíndrica, expresada en [cm²].

τ_k : Tensión tangencial o esfuerzo de corte en la junta de adherencia, expresada en [kgf/cm²]

τ : Tensión tangencial, expresada en [MPa]

- 3) Se selecciona la deformación correspondiente a la resistencia máxima y se transforma de unidad:

$$DM = 25,4 \times DC_{MAX}$$

Donde:

DC_{MAX} : Deformación que corresponde a la carga máxima, expresada en [pulgadas].

DM : Deformación máxima, expresada en [mm].

3.8. Determinación Número de probetas a construir

En función de los requerimientos y de la disponibilidad de tiempo se determino que era necesario construir un mínimo de 3 probetas para cada emulsión o variable a analizar.

Se probaran de 3 a 5 dosis por emulsión y 3 temperaturas de compactación de la segunda capa. Además las probetas contaminadas con agua y polvo, serán construidos con la dosis optima de la emulsión elegida.

También se construirán probetas monolíticas (una sola capa) y probetas de doble capa sin emulsión como parámetros de control.

Todos los procesos constructivos serán llevados a cabo por el alumno con el fin de minimizar dispersiones.

CAPÍTULO 4: PRESENTACION DE RESULTADOS

4.1. Probetas Construidas

Las probetas construidas se identifican en función de la emulsión utilizada, en función del número de probeta y de la dosis aplicada o alguna variable relevante.

La nomenclatura se indica en la siguiente tabla:

Tabla N° 4.1: Nomenclatura para la identificación de probetas.

Tipo de emulsión o característica de la probeta	MO	SE	C1H	M1	CRS	SPR	A	P	T
Numero de probeta	1	2	3	4	5	/	/	/	/
Dosis de residuo aplicada	D007	DO15	DO22	D037	D044	/	/	/	/
Temperatura de compactación de segunda capa	T140	T130	T120	/	/	/	/	/	/

En donde:

- MO: Probeta Monolítica, una capa asfáltica.
- SE: Probeta de doble capa sin riego de liga en la junta.
- C1H: Probeta de doble capa con emulsión CSS-1H.
- M1: Probeta de doble capa con emulsión Experimental M-1.
- CRS: Probeta de doble capa con emulsión CRS-1.
- SPR: Probeta de doble capa con emulsión Spramul ML con polímeros.
- A: Probeta de doble capa, emulsión quebrada, residuo contaminado con agua.
- P: Probeta de doble capa, emulsión quebrada, residuo contaminado con polvo.
- T: Testigo extraído de pastelón asfáltico.
- D007: Dosis de residuo de riego igual a 0,07[lit/m²].
- D015: Dosis de residuo de riego igual a 0,15[lit/m²].
- D022: Dosis de residuo de riego igual a 0,22[lit/m²].
- D037: Dosis de residuo de riego igual a 0,37[lit/m²].
- D044: Dosis de residuo de riego igual a 0,44[lit/m²].
- T140: Segunda capa asfáltica aplicada a 140°C.
- T130: Segunda capa asfáltica aplicada a 130°C.
- T120: Segunda capa asfáltica aplicada a 120°C.

La identificación y el detalle de todas las probetas construidas se encuentran en el Anexo B.

4.2. Ensayos de Corte y Tensiones

Los ensayos de corte utilizando el método LCB se grafican a continuación. Realizando los cálculos y correcciones necesarias se obtienen los resultados para las cargas y tensiones máximas soportadas por las distintas probetas y sus respectivas deformaciones

El detalle de los ensayos se encuentra en el Anexo B.

4.2.1. Probetas Monolíticas y sin emulsión

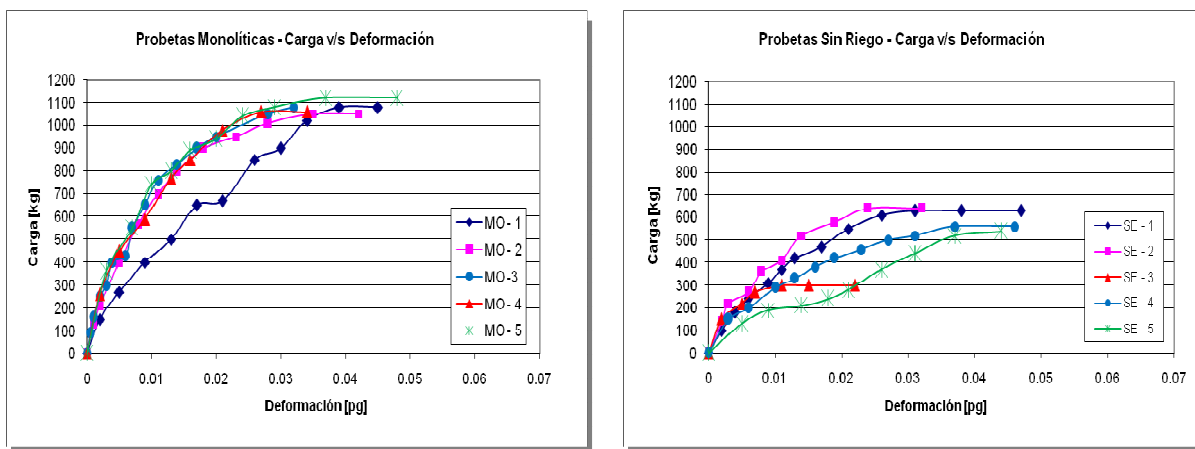


Figura N° 4.1: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas Monolíticas y Sin Riego.

Tabla N° 4.2: Carga Máxima. Probetas Monolíticas y Sin Riego.

Fecha Ensayo	N° Probeta	Peso Probeta [kg]	Peso Constante [kg]	Peso Total [kg]	Lectura Carga Max[kg]	Deformación [mm]	Corrección Lectura[kg]	CARGA TOTAL [kg]
25-Ene	MO - 1	1.141	15.438	16.579	1080	0.991	1089	1105.3
25-Ene	MO - 2	1.144	15.438	16.582	1050	0.889	1059	1075.1
25-Ene	MO - 3	1.145	15.438	16.583	1080	0.813	1089	1105.3
25-Ene	MO - 4	1.149	15.438	16.587	980	0.533	988	1004.5
23-Jul	MO - 5	1.156	15.438	16.594	1120	1.219	1129	1145.6
25-Ene	SE - 1	1.712	15.438	17.150	630	0.787	635	652.0
25-Ene	SE - 2	1.719	15.438	17.157	640	0.610	645	662.1
25-Ene	SE - 3	1.706	15.438	17.144	300	0.279	301	318.6
12-Feb	SE - 4	1.729	15.436	17.165	560	0.940	564	581.3
12-Feb	SE - 5	1.731	15.436	17.167	540	1.118	544	561.1

Tabla N° 4.3: Tensión Promedio de Corte. Probetas Monolíticas y Sin Riego.

N° Probeta	CARGA		CORTE		Área [cm ²]	Tensión [kgf/cm ²]	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]
	TOTAL [kg]	[kg]	[kN]	[kN]				
MO - 1	1105.3	552.7	5.416	81.073	6.817	0.67	0.66	
MO - 2	1075.1	537.5	5.268	81.073	6.630	0.65		
MO - 3	1105.3	552.7	5.416	81.073	6.817	0.67		
MO - 4	1004.5	502.3	4.922	81.073	6.195	0.61		
MO - 5	1145.6	572.8	5.614	81.073	7.065	0.69		
SE - 1	652.0	326.0	3.195	81.073	4.021	0.39	0.34	
SE - 2	662.1	331.0	3.244	81.073	4.083	0.40		
SE - 3	318.6	159.3	1.561	81.073	1.965	0.19		
SE - 4	581.3	290.7	2.849	81.073	3.585	0.35		
SE - 5	561.1	280.6	2.750	81.073	3.461	0.34		

4.2.2. Variación de Dosis de residuo aplicada.

4.2.2.1. Probetas con emulsión CSS-1H.

El riego se aplicó según la tabla N° 4.4.

Tabla N° 4.4: Datos y Aplicación de Riego con Emulsión CSS - 1H.

Datos				Tiempo [seg]	Solución 1:1 [lt/m ²]	R. A. [lt/m ²]
Área Bandeja	=	0.09	[m ²]			
Tipo emulsión	=	CSS - 1H				
Residuo emulsión	=	63.8	[%]			
Solución 1	:	1				
Residuo Solución	=	31.9	[%]			
				5	0.23	0.07
				10	0.46	0.15
				15	0.69	0.22
				20	0.92	0.29
				25	1.15	0.37
				30	1.38	0.44

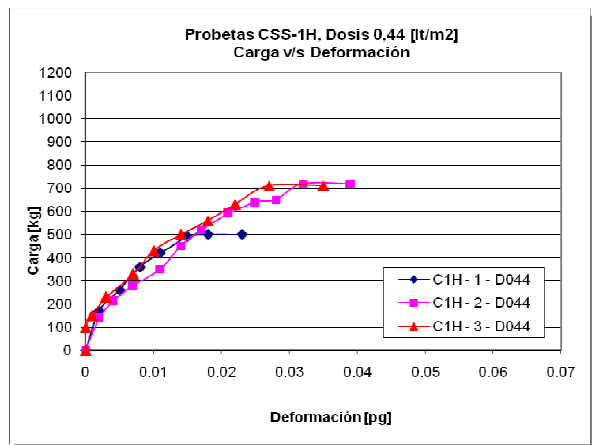
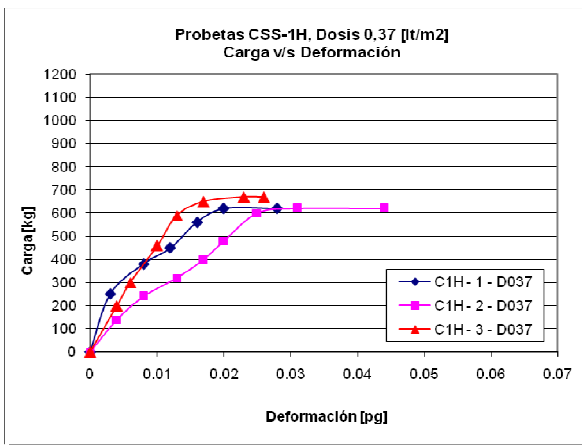
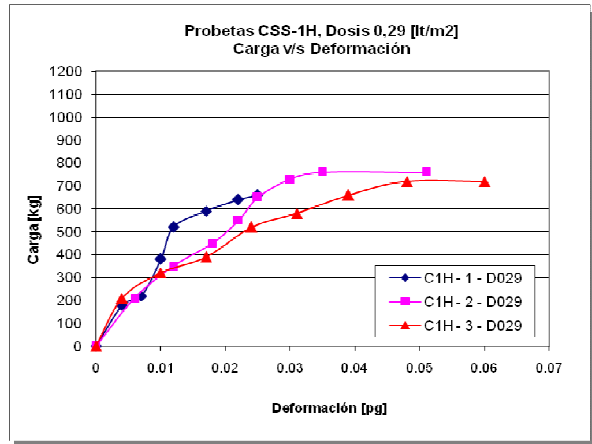
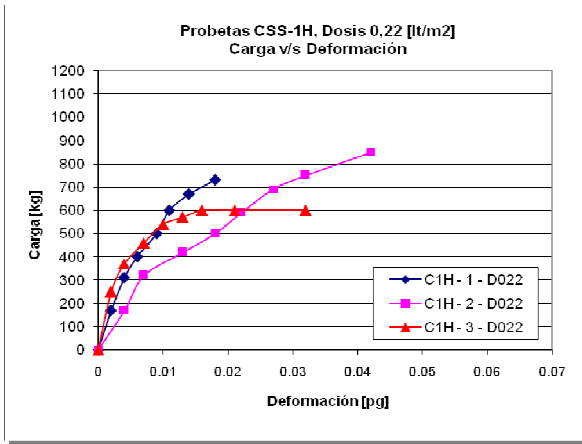
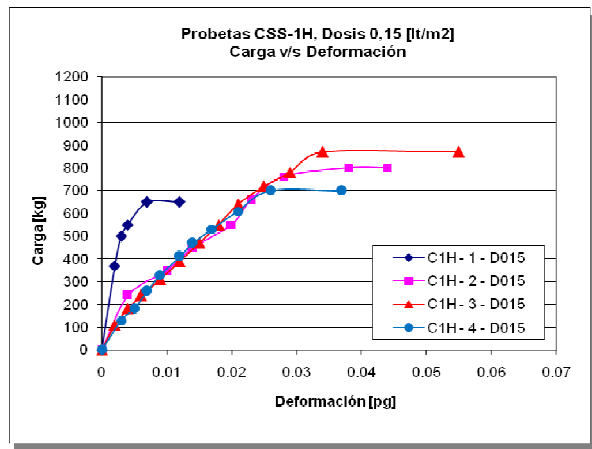
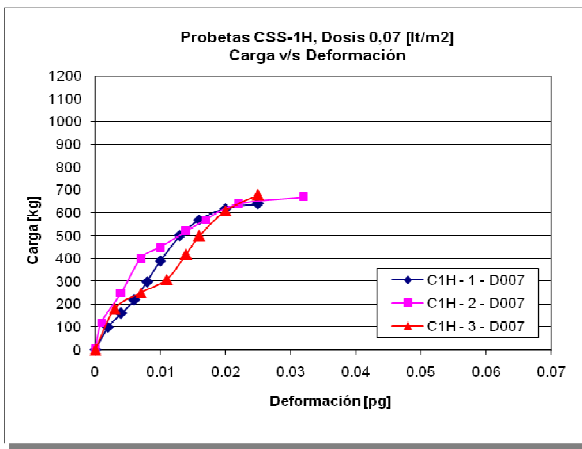


Figura N° 4.2: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión CSS - 1H.

Tabla N° 4.5: Carga Máxima. Probetas con Emulsión CSS - 1H.

Fecha Ensayo	N° Probeta	Peso Probeta [kg]	Peso Constante [kg]	Peso Total [kg]	Lectura Carga Max[kg]	Deformación [mm]	Corrección Lectura[kg]	CARGA TOTAL [kg]
13-Feb	C1H - 1 - D007	1.725	15.436	17.161	640	0.635	645	662.1
13-Feb	C1H - 2 - D007	1.724	15.436	17.160	670	0.813	675	692.4
13-Feb	C1H - 3 - D007	1.700	15.436	17.136	680	0.635	685	702.5
12-Feb	C1H - 1 - D015	1.730	15.438	17.168	650	0.305	655	672.2
12-Feb	C1H - 2 - D015	1.728	15.438	17.166	800	0.965	806	823.6
12-Feb	C1H - 3 - D015	1.724	15.438	17.162	870	0.864	877	894.2
13-Feb	C1H - 4 - D015	1.729	15.436	17.165	700	0.940	706	722.7
12-Feb	C1H - 1 - D022	1.723	15.438	17.161	730	0.457	736	752.9
12-Feb	C1H - 2 - D022	1.729	15.438	17.167	850	1.067	857	874.0
12-Feb	C1H - 3 - D022	1.727	15.438	17.165	600	0.406	605	621.7
12-Feb	C1H - 1 - D029	1.728	15.438	17.166	660	0.635	665	682.3
12-Feb	C1H - 2 - D029	1.727	15.438	17.165	760	0.889	766	783.2
12-Feb	C1H - 3 - D029	1.725	15.438	17.163	720	1.219	726	742.9
12-Feb	C1H - 1 - D037	1.726	15.438	17.164	620	0.508	625	641.9
12-Feb	C1H - 2 - D037	1.724	15.438	17.162	620	0.787	625	641.9
12-Feb	C1H - 3 - D037	1.724	15.438	17.162	670	0.584	675	692.4
13-Feb	C1H - 1 - D044	1.732	15.438	17.170	500	0.457	504	520.7
13-Feb	C1H - 2 - D044	1.731	15.438	17.169	720	0.813	726	742.9
13-Feb	C1H - 3 - D044	1.731	15.438	17.169	710	0.686	716	732.8

Tabla N° 4.6: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión CSS - 1H.

N° Probeta	CARGA TOTAL [kg]	CORTE [kg]	CORTE [kN]	Área [cm ²]	Tensión [kgf/cm ²]	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]
C1H - 1 - D007	662.1	331.1	3.244	81.073	4.083	0.40	0.41
C1H - 2 - D007	692.4	346.2	3.393	81.073	4.270	0.42	
C1H - 3 - D007	702.5	351.2	3.442	81.073	4.332	0.42	
C1H - 1 - D015	672.2	336.1	3.294	81.073	4.146	0.41	0.47
C1H - 2 - D015	823.6	411.8	4.036	81.073	5.079	0.50	
C1H - 3 - D015	894.2	447.1	4.382	81.073	5.515	0.54	
C1H - 4 - D015	722.7	361.3	3.541	81.073	4.457	0.44	
C1H - 1 - D022	752.9	376.5	3.689	81.073	4.644	0.46	0.45
C1H - 2 - D022	874.0	437.0	4.283	81.073	5.390	0.53	
C1H - 3 - D022	621.7	310.9	3.046	81.073	3.834	0.38	
C1H - 1 - D029	682.3	341.1	3.343	81.073	4.208	0.41	0.44
C1H - 2 - D029	783.2	391.6	3.838	81.073	4.830	0.47	
C1H - 3 - D029	742.9	371.4	3.640	81.073	4.581	0.45	
C1H - 1 - D037	641.9	321.0	3.145	81.073	3.959	0.39	0.40
C1H - 2 - D037	641.9	321.0	3.145	81.073	3.959	0.39	
C1H - 3 - D037	692.4	346.2	3.393	81.073	4.270	0.42	
C1H - 1 - D044	520.7	260.4	2.552	81.073	3.211	0.31	0.40
C1H - 2 - D044	742.9	371.4	3.640	81.073	4.581	0.45	
C1H - 3 - D044	732.8	366.4	3.591	81.073	4.519	0.44	

4.2.2.2. Probetas con emulsión CRS-1

El riego se aplicó según la tabla N° 4.7.

Tabla N° 4.7: Datos y Aplicación de Riego con Emulsión CRS - 1.

Datos			Tiempo	Solución 1:1	R. A.
Área Bandeja	=	0.09 [m ²]	[seg]	[lt/m ²]	[lt/m ²]
Tipo emulsión	=	CRS - 1	4.5	0.21	0.07
Residuo emulsión	=	65 [%]	10	0.46	0.15
Solución 1	:	1	14.5	0.67	0.22
Residuo Solución	=	32.5 [%]	19.5	0.90	0.29
			25	1.15	0.37
			29.5	1.36	0.44

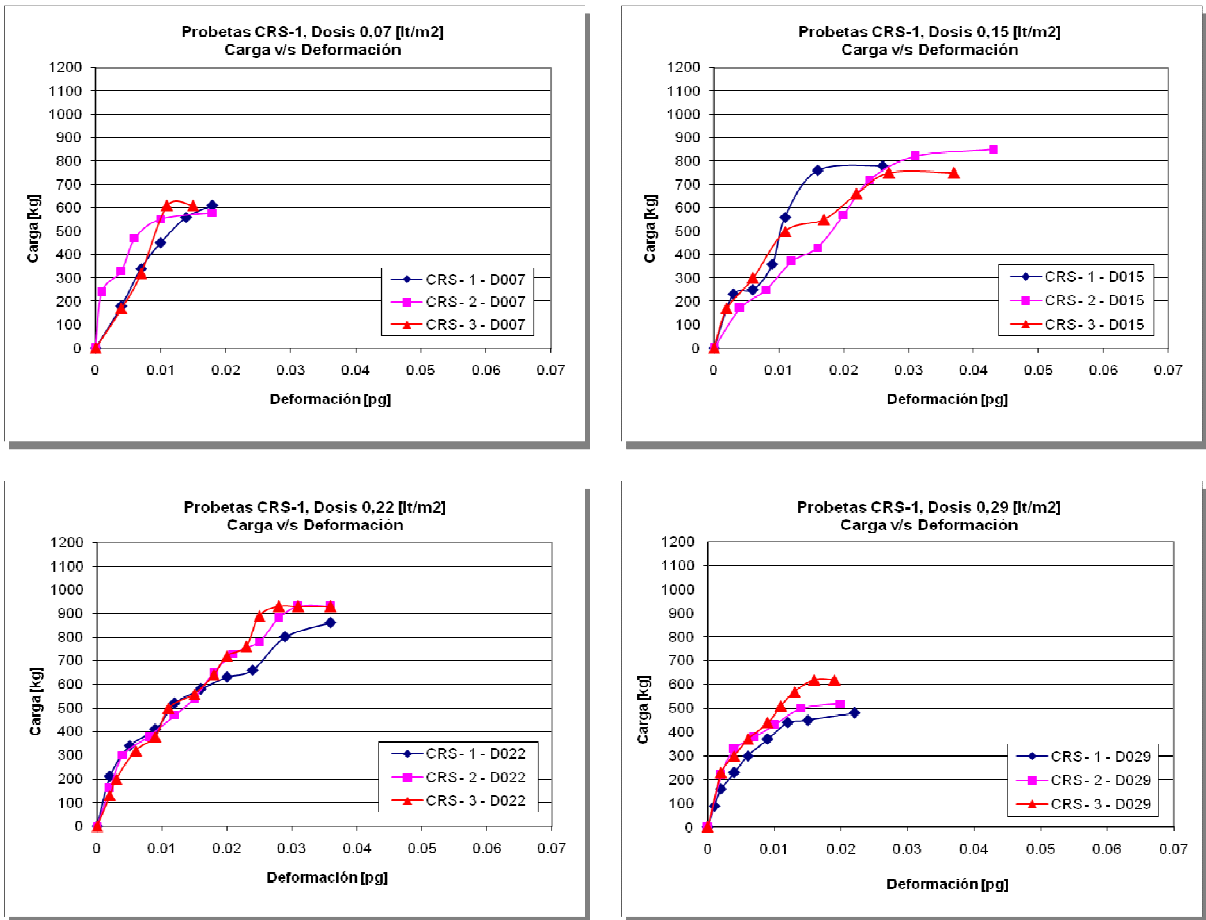


Figura N° 4.3: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión CRS - 1.

Tabla N° 4.8: Carga Máxima. Probetas con Emulsión CRS - 1.

Fecha Ensayo	N° Probeta	Peso Probeta [kg]	Peso Constante [kg]	Peso Total [kg]	Lectura Carga Max[kg]	Deformación [mm]	Corrección Lectura[kg]	CARGA TOTAL [kg]
26-Abr	CRS - 1 - D007	1.724	15.436	17.160	610	0.457	615	631.8
26-Abr	CRS - 2 - D007	1.729	15.436	17.165	580	0.457	584	601.5
26-Abr	CRS - 3 - D007	1.730	15.436	17.166	610	0.381	615	631.8
26-Abr	CRS - 1 - D015	1.728	15.436	17.164	780	0.660	786	803.4
26-Abr	CRS - 2 - D015	1.655	15.436	17.091	850	1.092	857	873.9
26-Abr	CRS - 3 - D015	1.729	15.436	17.165	750	0.940	756	773.1
27-Abr	CRS - 1 - D022	1.735	15.436	17.171	860	0.914	867	884.1
27-Abr	CRS - 2 - D022	1.736	15.436	17.172	930	0.914	938	954.7
27-Abr	CRS - 3 - D022	1.737	15.436	17.173	930	0.914	938	954.7
27-Abr	CRS - 1 - D029	1.728	15.436	17.164	480	0.559	483	500.5
27-Abr	CRS - 2 - D029	1.733	15.436	17.169	520	0.508	524	540.9
27-Abr	CRS - 3 - D029	1.730	15.436	17.166	620	0.483	625	641.9

Tabla N° 4.9: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión CRS - 1.

N° Probeta	CARGA TOTAL [kg]	CORTE [kg]	CORTE [kN]	Área [cm ²]	Tensión [kgf/cm ²]	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]
CRS - 1 - D007	631.8	315.9	3.096	81.073	3.897	0.38	0.38
CRS - 2 - D007	601.5	300.8	2.947	81.073	3.710	0.36	
CRS - 3 - D007	631.8	315.9	3.096	81.073	3.897	0.38	
CRS - 1 - D015	803.4	401.7	3.937	81.073	4.955	0.49	0.49
CRS - 2 - D015	873.9	437.0	4.282	81.073	5.390	0.53	
CRS - 3 - D015	773.1	386.6	3.788	81.073	4.768	0.47	
CRS - 1 - D022	884.1	442.1	4.332	81.073	5.453	0.53	0.56
CRS - 2 - D022	954.7	477.4	4.678	81.073	5.888	0.58	
CRS - 3 - D022	954.7	477.4	4.678	81.073	5.888	0.58	
CRS - 1 - D029	500.5	250.3	2.453	81.073	3.087	0.30	0.34
CRS - 2 - D029	540.9	270.5	2.651	81.073	3.336	0.33	
CRS - 3 - D029	641.9	321.0	3.145	81.073	3.959	0.39	

4.2.2.3. Probetas con emulsión Spramul ML

El riego se aplicó según la tabla N° 4.10.

Tabla N° 4.10: Datos y Aplicación de Riego con Emulsión Spramul ML.

Datos				Tiempo	Solución 1:1	R. A.
	=		[m ²]	[seg]	[lt/m ²]	[lt/m ²]
Área Bandeja	=	0.09	[m ²]	4.4	0.20	0.07
Tipo emulsión	=	SPRAMUL ML		9.5	0.44	0.15
Residuo emulsión	=	69.5	[%]	13.5	0.62	0.22
Solución 1	:	1		18	0.83	0.29
Residuo Solución	=	34.8	[%]	23	1.06	0.37
				27.5	1.26	0.44

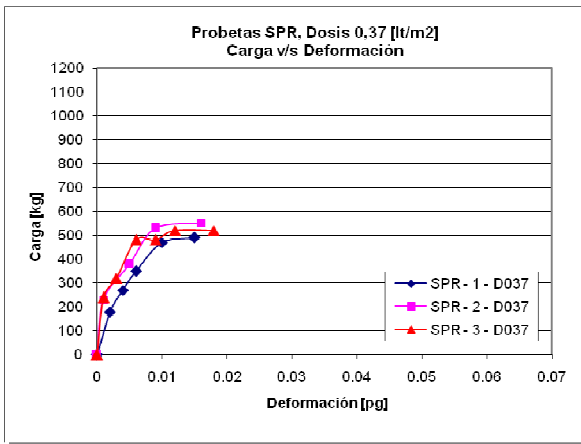
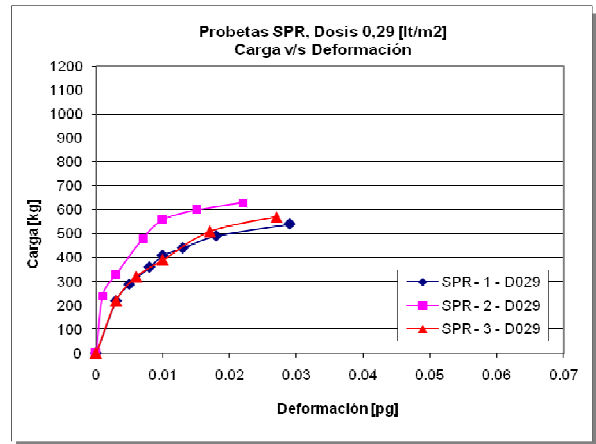
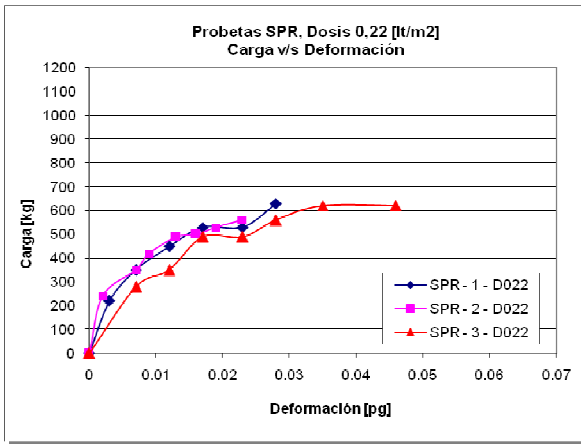
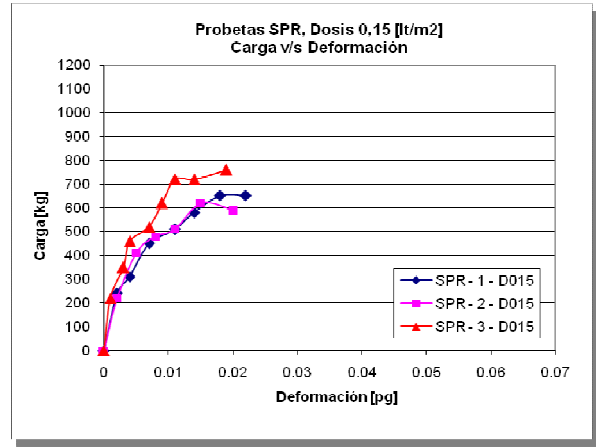
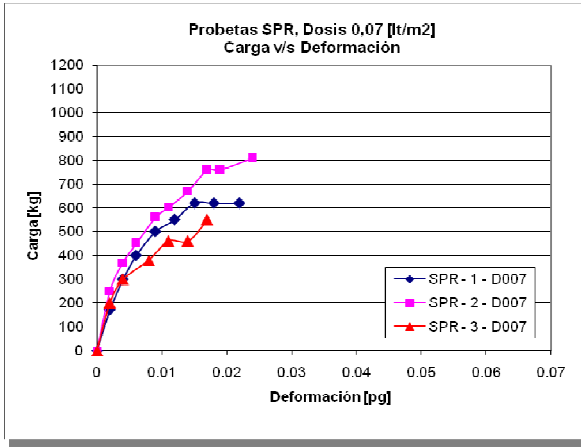


Figura N° 4.4: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión Spramul ML.

Tabla N° 4.11: Carga Máxima. Probetas con Emulsión Sparamul ML.

Fecha Ensayo	N° Probeta	Peso Probeta [kg]	Peso Constante [kg]	Peso Total [kg]	Lectura Carga Max[kg]	Deformación [mm]	Corrección Lectura[kg]	CARGA TOTAL [kg]
27-Abr	SPR - 1 - D007	1.736	15.436	17.172	620	0.559	625	641.9
27-Abr	SPR - 2 - D007	1.733	15.436	17.169	810	0.610	817	833.7
27-Abr	SPR - 3 - D007	1.738	15.436	17.174	550	0.432	554	571.2
27-Abr	SPR - 1 - D015	1.734	15.436	17.170	650	0.559	655	672.2
27-Abr	SPR - 2 - D015	1.731	15.436	17.167	620	0.508	625	641.9
27-Abr	SPR - 3 - D015	1.737	15.436	17.173	760	0.483	766	783.2
27-Abr	SPR - 1 - D022	1.729	15.436	17.165	630	0.711	635	652.0
27-Abr	SPR - 2 - D022	1.733	15.436	17.169	560	0.584	564	581.3
27-Abr	SPR - 3 - D022	1.736	15.436	17.172	620	1.168	625	641.9
27-Abr	SPR - 1 - D029	1.732	15.436	17.168	540	0.737	544	561.1
27-Abr	SPR - 2 - D029	1.735	15.436	17.171	630	0.559	635	652.0
27-Abr	SPR - 3 - D029	1.736	15.436	17.172	570	0.686	574	591.4
27-Abr	SPR - 1 - D037	1.732	15.436	17.168	490	0.381	493	510.6
27-Abr	SPR - 2 - D037	1.735	15.436	17.171	550	0.406	554	571.2
27-Abr	SPR - 3 - D037	1.732	15.436	17.168	520	0.457	524	540.9

Tabla N° 4.12: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión Sparamul ML.

N° Probeta	CARGA TOTAL [kg]	CORTE [kg]	CORTE [kN]	Área [cm ²]	Tensión [kgf/cm ²]	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]
SPR - 1 - D007	641.9	321.0	3.145	81.073	3.959	0.39	0.41
SPR - 2 - D007	833.7	416.8	4.085	81.073	5.141	0.50	
SPR - 3 - D007	571.2	285.6	2.799	81.073	3.523	0.35	
SPR - 1 - D015	672.2	336.1	3.294	81.073	4.146	0.41	0.42
SPR - 2 - D015	641.9	321.0	3.145	81.073	3.959	0.39	
SPR - 3 - D015	783.2	391.6	3.838	81.073	4.830	0.47	
SPR - 1 - D022	652.0	326.0	3.195	81.073	4.021	0.39	0.38
SPR - 2 - D022	581.3	290.7	2.849	81.073	3.585	0.35	
SPR - 3 - D022	641.9	321.0	3.145	81.073	3.959	0.39	
SPR - 1 - D029	561.1	280.6	2.750	81.073	3.461	0.34	0.36
SPR - 2 - D029	652.0	326.0	3.195	81.073	4.021	0.39	
SPR - 3 - D029	591.4	295.7	2.898	81.073	3.648	0.36	
SPR - 1 - D037	510.6	255.3	2.502	81.073	3.149	0.31	0.33
SPR - 2 - D037	571.2	285.6	2.799	81.073	3.523	0.35	
SPR - 3 - D037	540.9	270.5	2.651	81.073	3.336	0.33	

4.2.2.4. Probetas con emulsión Experimental M1

El riego se aplicó según la tabla N° 4.13.

Tabla N° 4.13: Datos y Aplicación de Riego con Emulsión Experimental M1.

Datos		Tiempo [seg]	Solución 1:0 [lt/m ²]	R. A. [lt/m ²]
Área Bandeja	= 0.09 [m ²]	6	0.28	0.07
Tipo emulsión	= M1	12	0.57	0.15
Residuo emulsión	= 26 [%]	18	0.85	0.22
Solución 1	: 0	24	1.14	0.30
Residuo Solución	= 26 [%]	30	1.42	0.37
		36	1.71	0.44

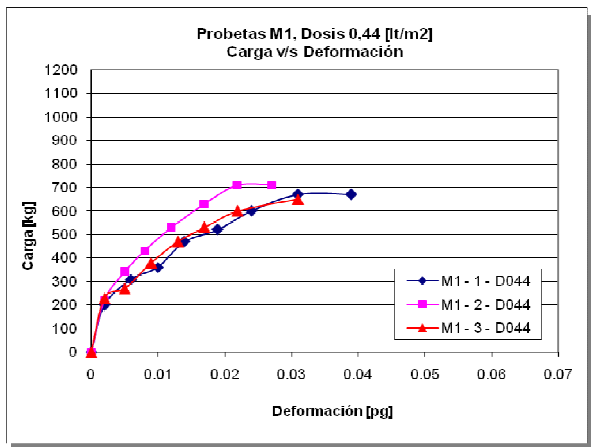
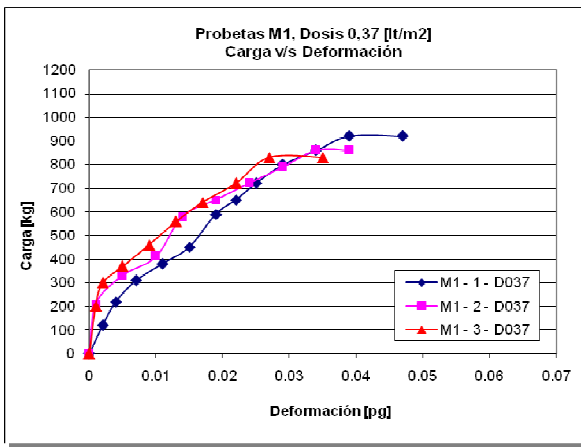
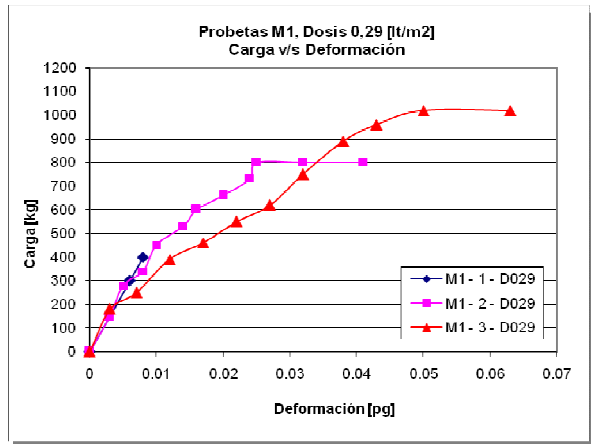
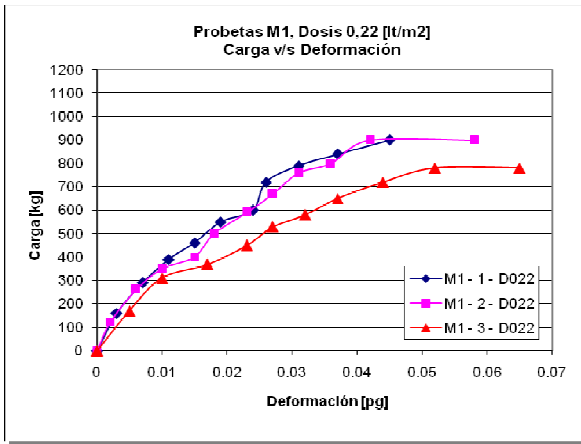
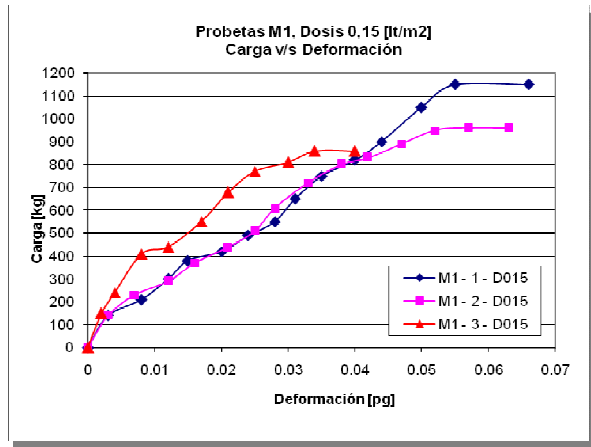
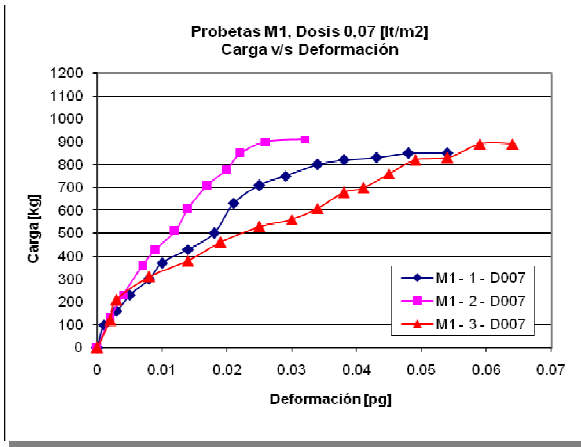


Figura N° 4.5: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión M1.

Tabla N° 4.14: Carga Máxima. Carga Máxima. Probetas con Emulsión Experimental M1.

Fecha Ensayo	N° Probeta	Peso Probeta [kg]	Peso Constante [kg]	Peso Total [kg]	Lectura Carga Max[kg]	Deformación [mm]	Corrección Lectura[kg]	CARGA TOTAL [kg]
26-Abr	M1 - 1 -D007	1.733	15.436	17.169	850	1.372	857	874.0
26-Abr	M1 - 2 -D007	1.725	15.436	17.161	910	0.813	917	934.5
26-Abr	M1 - 3 -D007	1.723	15.436	17.159	890	1.626	897	914.4
13-Feb	M1 - 1 -D015	1.723	15.438	17.161	1150	1.676	1159	1176.4
13-Feb	M1 - 2 -D015	1.726	15.438	17.164	960	1.905	968	984.9
13-Feb	M1 - 3 -D015	1.733	15.438	17.171	860	1.016	867	884.1
13-Feb	M1 - 1 -D022	1.725	15.438	17.163	900	1.143	907	924.4
13-Feb	M1 - 2 -D022	1.726	15.438	17.164	900	1.473	907	924.4
13-Feb	M1 - 3 -D022	1.729	15.438	17.167	780	1.651	786	803.4
13-Feb	M1 - 1 -D029	1.729	15.438	17.167	400	0.203	403	419.7
13-Feb	M1 - 2 -D029	1.728	15.438	17.166	800	1.041	806	823.6
13-Feb	M1 - 3 -D029	1.733	15.438	17.171	1020	1.600	1028	1045.4
26-Abr	M1 - 1 - D037	1.733	15.436	17.169	920	1.194	927	944.6
26-Abr	M1 - 2 - D037	1.732	15.436	17.168	860	0.991	867	884.1
26-Abr	M1 - 3 - D037	1.728	15.436	17.164	830	0.889	837	853.8
26-Abr	M1 - 1 - D044	1.736	15.436	17.172	670	0.991	675	692.4
26-Abr	M1 - 2 - D044	1.735	15.436	17.171	710	0.686	716	732.8
26-Abr	M1 - 3 - D044	1.732	15.436	17.168	650	0.787	655	672.2

Tabla N° 4.15: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión M1.

N° Probeta	CARGA TOTAL [kg]	CORTE [kg]	CORTE [kN]	Área [cm ²]	Tensión [kgf/cm ²]	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]
M1 - 1 -D007	874.0	437.0	4.283	81.073	5.390	0.53	0.55
M1 - 2 -D007	934.5	467.3	4.579	81.073	5.763	0.56	
M1 - 3 -D007	914.4	457.2	4.480	81.073	5.639	0.55	
M1 - 1 -D015	1176.4	588.2	5.764	81.073	7.255	0.71	0.61
M1 - 2 -D015	984.9	492.5	4.826	81.073	6.074	0.60	
M1 - 3 -D015	884.1	442.1	4.332	81.073	5.453	0.53	
M1 - 1 -D022	924.4	462.2	4.530	81.073	5.701	0.56	0.53
M1 - 2 -D022	924.4	462.2	4.530	81.073	5.701	0.56	
M1 - 3 -D022	803.4	401.7	3.937	81.073	4.955	0.49	
M1 - 1 -D029	419.7	209.8	2.056	81.073	2.588	0.25	0.46
M1 - 2 -D029	823.6	411.8	4.036	81.073	5.079	0.50	
M1 - 3 -D029	1045.4	522.7	5.123	81.073	6.447	0.63	
M1 - 1 - D037	944.6	472.3	4.629	81.073	5.826	0.57	0.54
M1 - 2 - D037	884.1	442.1	4.332	81.073	5.453	0.53	
M1 - 3 - D037	853.8	426.9	4.184	81.073	5.266	0.52	
M1 - 1 - D044	692.4	346.2	3.393	81.073	4.270	0.42	0.42
M1 - 2 - D044	732.8	366.4	3.591	81.073	4.519	0.44	
M1 - 3 - D044	672.2	336.1	3.294	81.073	4.146	0.41	

4.2.2.5. Testigos con emulsión CRS-1.

El riego se aplicó según la tabla N° 4.16.

Tabla N° 4.16: Probeta WT y Aplicación de Riego con Emulsión CRS - 1.

Datos		Tiempo	Solución 1:1	R. A.
		[seg]	[lt/m ²]	[lt/m ²]
Área Probeta WT	= 0.09 [m ²]	4.5	0.21	0.07
Tipo emulsión	= CRS - 1	10	0.46	0.15
Residuo emulsión	= 65 [%]	14.5	0.67	0.22
Solución 1	: 1	19.5	0.90	0.29
Residuo Solución	= 32.5 [%]	25	1.15	0.37
		29.5	1.36	0.44

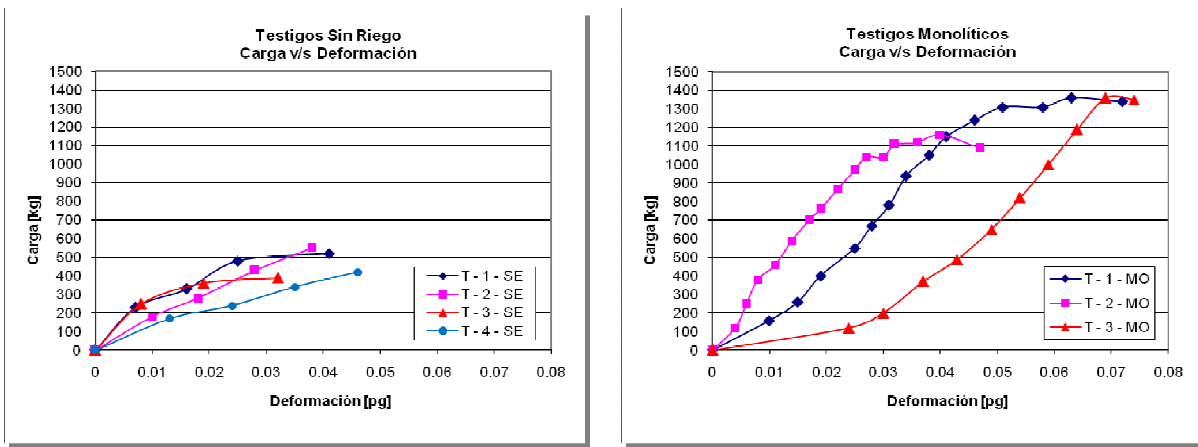


Figura N° 4.6: Gráficos de Ensayos LCB. Testigos Monolíticos y Sin Riego.

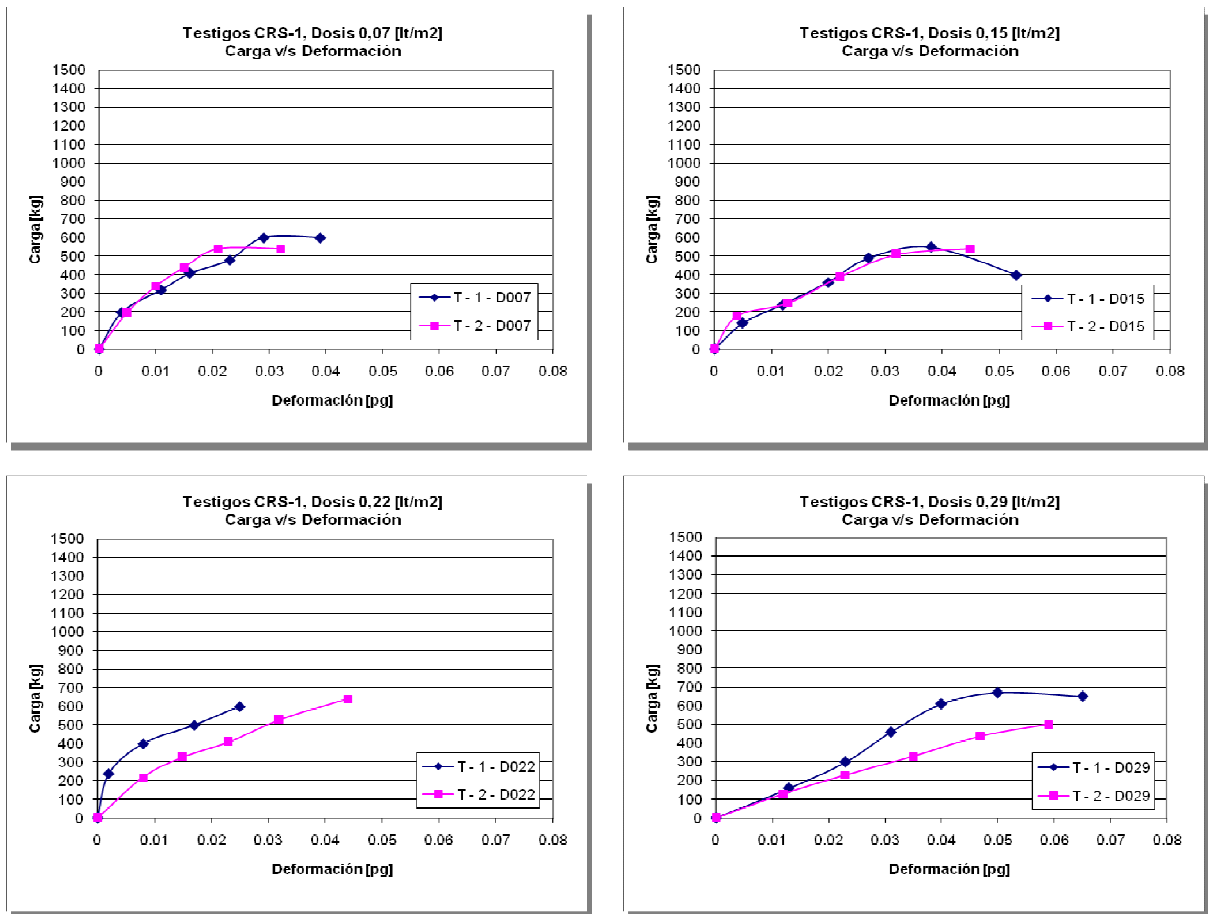


Figura N° 4.7: Gráficos de Ensayos LCB. Testigos con Emulsión CRS - 1.

Tabla N° 4.17: Carga Máxima. Testigos con Emulsión CRS - 1. Monolíticos y Sin Riego.

Fecha Ensayo	N° Probeta	Peso Probeta [kg]	Peso Constante [kg]	Peso Total [kg]	Lectura Carga Max[kg]	Deformación [mm]	Corrección Lectura[kg]	CARGA TOTAL [kg]
23-Jul	T - 1 - SE	1.772	15.436	17.208	520	1.041	524	541.0
23-Jul	T - 2 - SE	1.825	15.436	17.261	550	0.965	554	571.3
23-Jul	T - 3 - SE	1.753	15.436	17.189	390	0.813	392	409.6
23-Jul	T - 4 - SE	1.695	15.436	17.131	420	1.168	423	439.9
23-Jul	T - 1 - MO	1.024	15.436	16.460	1360	1.600	1371	1387.2
23-Jul	T - 2 - MO	0.951	15.436	16.387	1160	1.016	1169	1185.7
23-Jul	T - 3 - MO	0.916	15.436	16.352	1360	1.753	1371	1387.1
23-Jul	T - 1 - D007	1.893	15.436	17.329	600	0.991	605	621.9
23-Jul	T - 2 - D007	1.946	15.436	17.382	540	0.813	544	561.3
23-Jul	T - 1 - D015	1.918	15.436	17.354	550	0.965	554	571.4
23-Jul	T - 2 - D015	1.976	15.436	17.412	540	1.143	544	561.4
23-Jul	T - 1 - D022	1.893	15.436	17.329	600	0.635	605	621.9
23-Jul	T - 2 - D022	1.938	15.436	17.374	640	1.118	645	662.3
23-Jul	T - 1 - D029	1.964	15.436	17.400	670	1.270	675	692.6
23-Jul	T - 2 - D029	1.936	15.436	17.372	500	1.499	504	520.9

Tabla N° 4.18: Tensión Promedio de Corte. Testigos con Emulsión CRS - 1.

N° Probeta	CARGA TOTAL [kg]	CORTE [kg]	CORTE [kN]	Área [cm ²]	Tensión [kgf/cm ²]	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]
T - 1 - SE	541.0	270.5	2.651	81.073	3.336	0.33	0.30
T - 2 - SE	571.3	285.7	2.799	81.073	3.524	0.35	
T - 3 - SE	409.6	204.8	2.007	81.073	2.526	0.25	
T - 4 - SE	439.9	219.9	2.155	81.073	2.713	0.27	
T - 1 - MO	1387.2	693.6	6.797	81.073	8.555	0.84	0.80
T - 2 - MO	1185.7	592.9	5.810	81.073	7.313	0.72	
T - 3 - MO	1387.1	693.5	6.797	81.073	8.554	0.84	
T - 1 - D007	621.9	310.9	3.047	81.073	3.835	0.38	0.36
T - 2 - D007	561.3	280.7	2.751	81.073	3.462	0.34	
T - 1 - D015	571.4	285.7	2.800	81.073	3.524	0.35	0.34
T - 2 - D015	561.4	280.7	2.751	81.073	3.462	0.34	
T - 1 - D022	621.9	310.9	3.047	81.073	3.835	0.38	0.39
T - 2 - D022	662.3	331.2	3.245	81.073	4.085	0.40	
T - 1 - D029	692.6	346.3	3.394	81.073	4.272	0.42	0.37
T - 2 - D029	520.9	260.5	2.553	81.073	3.213	0.31	

4.2.3. Disminución de la temperatura de compactación 2° capa.

4.2.3.1. Probetas con emulsión CRS-1

El riego se aplicó según la tabla N° 4.19.

Tabla N° 4.19: Aplicación de Riego con Emulsión CRS - 1. Dosis de residuo 0.22[l/m²].

.Datos				Tiempo	Solución 1:1	R. A.
Área Bandeja	=	0.09	[m ²]	[seg]	[lt/m ²]	[lt/m ²]
Tipo emulsión	=	CRS - 1		14.5	0.67	0.22
Residuo emulsión	=	65	[%]			
Solución 1	:	1				
Residuo Solución	=	32.5	[%]			

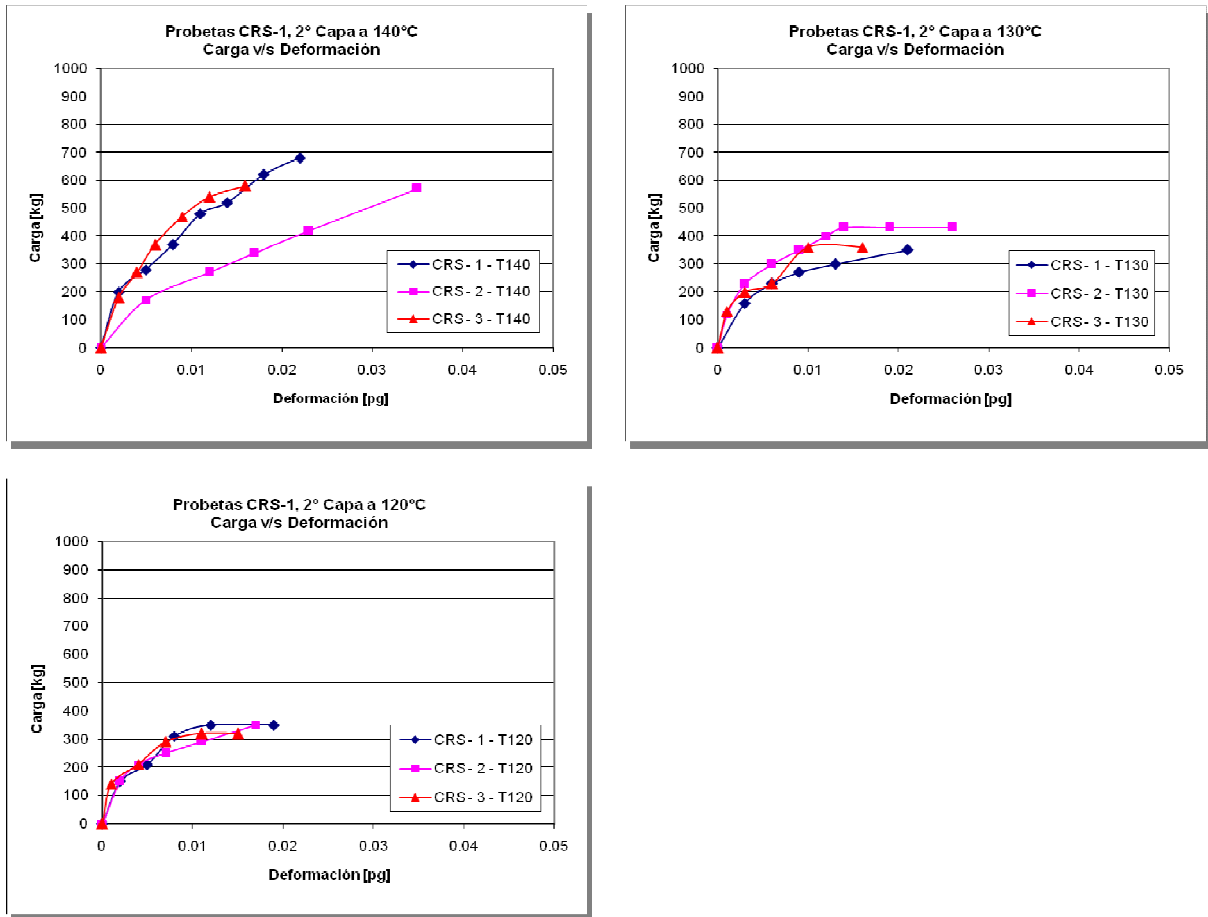


Figura N° 4.8: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión CRS - 1. Cambio de Temperatura 2° capa.

Tabla N° 4.20: Carga Máxima. Cambio de Temperatura 2° capa. Probetas con Emulsión CRS - 1.

Fecha Ensayo	N° Probeta	Peso Probeta [kg]	Peso Constante [kg]	Peso Total [kg]	Lectura Carga Max[kg]	Deformación [mm]	Corrección Lectura[kg]	CARGA TOTAL [kg]
29-Jun	CRS - 1 - T140	1.734	15.436	17.170	680	0.559	685	702.5
29-Jun	CRS - 2 - T140	1.729	15.436	17.165	570	0.889	574	591.4
03-Jul	CRS - 3 - T140	1.730	15.436	17.166	580	0.406	584	601.5
03-Jul	CRS - 1 - T130	1.728	15.436	17.164	350	0.533	352	369.2
03-Jul	CRS - 2 - T130	1.732	15.436	17.168	430	0.660	433	450.0
03-Jul	CRS - 3 - T130	1.721	15.436	17.157	360	0.406	362	379.3
03-Jul	CRS - 1 - T120	1.722	15.436	17.158	350	0.483	352	369.1
03-Jul	CRS - 2 - T120	1.725	15.436	17.161	350	0.432	352	369.2
03-Jul	CRS - 3 - T120	1.714	15.436	17.150	320	0.381	322	338.8

Tabla N° 4.21: Tensión Promedio de Corte. Cambio de Temperatura 2° capa. Probetas con Emulsión CRS - 1.

N° Probeta	CARGA TOTAL [kg]	CORTE [kg]	CORTE [kN]	Área [cm ²]	Tensión [kgf/cm ²]	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]
CRS - 1 - T140	702.5	351.2	3.442	81.073	4.332	0.42	0.38
CRS - 2 - T140	591.4	295.7	2.898	81.073	3.647	0.36	
CRS - 3 - T140	601.5	300.8	2.947	81.073	3.710	0.36	
CRS - 1 - T130	369.2	184.6	1.809	81.073	2.277	0.22	0.24
CRS - 2 - T130	450.0	225.0	2.205	81.073	2.775	0.27	
CRS - 3 - T130	379.3	189.6	1.858	81.073	2.339	0.23	
CRS - 1 - T120	369.1	184.6	1.809	81.073	2.277	0.22	0.22
CRS - 2 - T120	369.2	184.6	1.809	81.073	2.277	0.22	
CRS - 3 - T120	338.8	169.4	1.660	81.073	2.090	0.20	

4.2.3.2. Probetas con emulsión Experimental M1

El riego se aplicó según la tabla N° 4.22.

Tabla N° 4.22: Aplicación de Riego con Emulsión M1. Dosis de residuo 0.22[l/m²].

Datos	
Área Bandeja	= 0.09 [m ²]
Tipo emulsión	= M1
Residuo solución	= 26 [%]
Solución 1	: 0

Tiempo [seg]	Solución 1:0 [lt/m ²]	R. A. [lt/m ²]
18	0.85	0.22

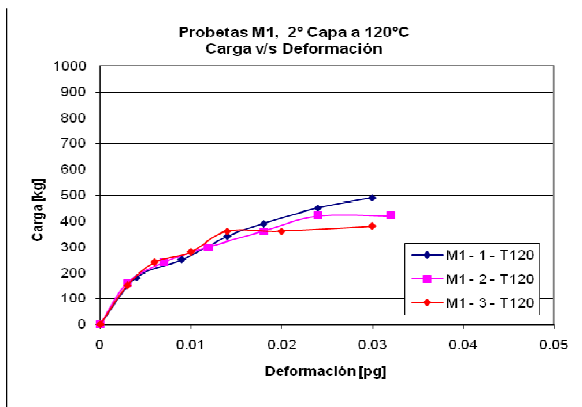
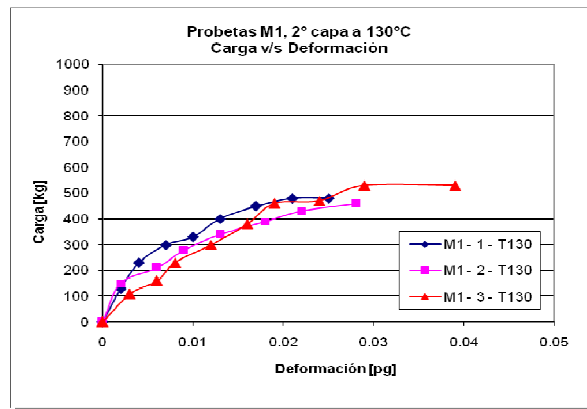
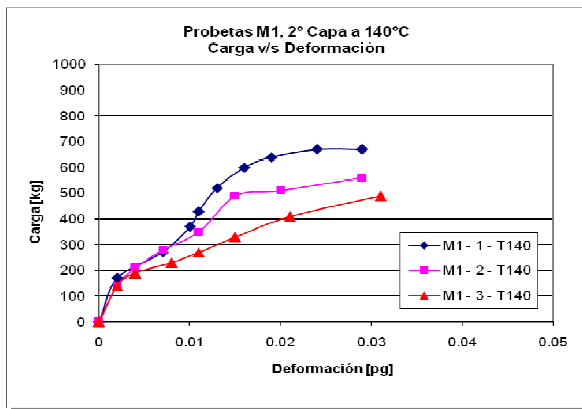


Figura N° 4.9: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión M1. Cambio de Temperatura 2° capa.

Tabla N° 4.23: Carga Máxima. Cambio de Temperatura de 2° capa. Probetas con Emulsión M1.

Fecha Ensayo	N° Probeta	Peso Probeta [kg]	Peso Constante [kg]	Peso Total [kg]	Lectura Carga Max[kg]	Deformación [mm]	Corrección Lectura[kg]	CARGA TOTAL [kg]
29-Jun	M1 - 1 - T140	1.726	15.460	17.186	670	0.737	675	692.4
29-Jun	M1 - 2 - T140	1.728	15.460	17.188	560	0.737	564	581.4
29-Jun	M1 - 3 - T140	1.725	15.460	17.185	490	0.787	493	510.6
29-Jun	M1 - 1 - T130	1.726	15.460	17.186	480	0.635	483	500.5
29-Jun	M1 - 2 - T130	1.729	15.460	17.190	460	0.711	463	480.3
29-Jun	M1 - 3 - T130	1.727	15.460	17.187	530	0.991	534	551.1
29-Jun	M1 - 1 - T120	1.734	15.460	17.194	490	0.762	493	510.7
29-Jun	M1 - 2 - T120	1.705	15.460	17.165	420	0.813	423	439.9
29-Jun	M1 - 3 - T120	1.727	15.460	17.188	380	0.762	382	399.5

Tabla N° 4.24: Tensión Promedio de Corte. Cambio de Temperatura 2° capa. Probetas con Emulsión M1.

N° Probeta	CARGA TOTAL [kg]	CORTE [kg]	CORTE [kN]	Área [cm ²]	Tensión [kgf/cm ²]	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]
M1 - 1 - T140	692.4	346.2	3.393	81.073	4.270	0.42	0.36
M1 - 2 - T140	581.4	290.7	2.849	81.073	3.585	0.35	
M1 - 3 - T140	510.6	255.3	2.502	81.073	3.149	0.31	
M1 - 1 - T130	500.5	250.3	2.453	81.073	3.087	0.30	0.31
M1 - 2 - T130	480.3	240.2	2.354	81.073	2.962	0.29	
M1 - 3 - T130	551.1	275.5	2.700	81.073	3.398	0.33	
M1 - 1 - T120	510.7	255.3	2.502	81.073	3.149	0.31	0.27
M1 - 2 - T120	439.9	220.0	2.156	81.073	2.713	0.27	
M1 - 3 - T120	399.5	199.7	1.958	81.073	2.464	0.24	

4.2.4. Residuo contaminado con agua.

Aplicar una dosis de residuo de 0.22 [lt/m²] según tabla N° 4.19.

Tabla N° 4.25: Dosis de Agua sobre Residuo.

N° Probeta	Peso inicial P + M [kg]	Peso Final P + M [kg]	P. C. [kg]	Área [cm ²]	C [kg/m ²]	C [kg/m ²]	C [kg/m ²]
A - 1 - D015	2.4655	2.4671	0.0016	81.073	0.197	0.181	0.19
A - 2 - D015	2.4861	2.4876	0.0015	81.073	0.185		
A - 3 - D015	2.4463	2.4476	0.0013	81.073	0.160		
A - 1 - D022	2.4489	2.4507	0.0018	81.073	0.222	0.197	
A - 2 - D022	2.4638	2.4652	0.0014	81.073	0.173		
A - 3 - D022	2.4565	2.4581	0.0016	81.073	0.197		
A - 1 - D029	2.5329	2.5348	0.0019	81.073	0.234	0.185	
A - 2 - D029	2.5120	2.5135	0.0015	81.073	0.185		
A - 3 - D029	2.4667	2.4678	0.0011	81.073	0.136		

P + M = Probeta de una capa + Molde marshall

P. C. = Peso del Contaminante

C = Dosis de Contaminación

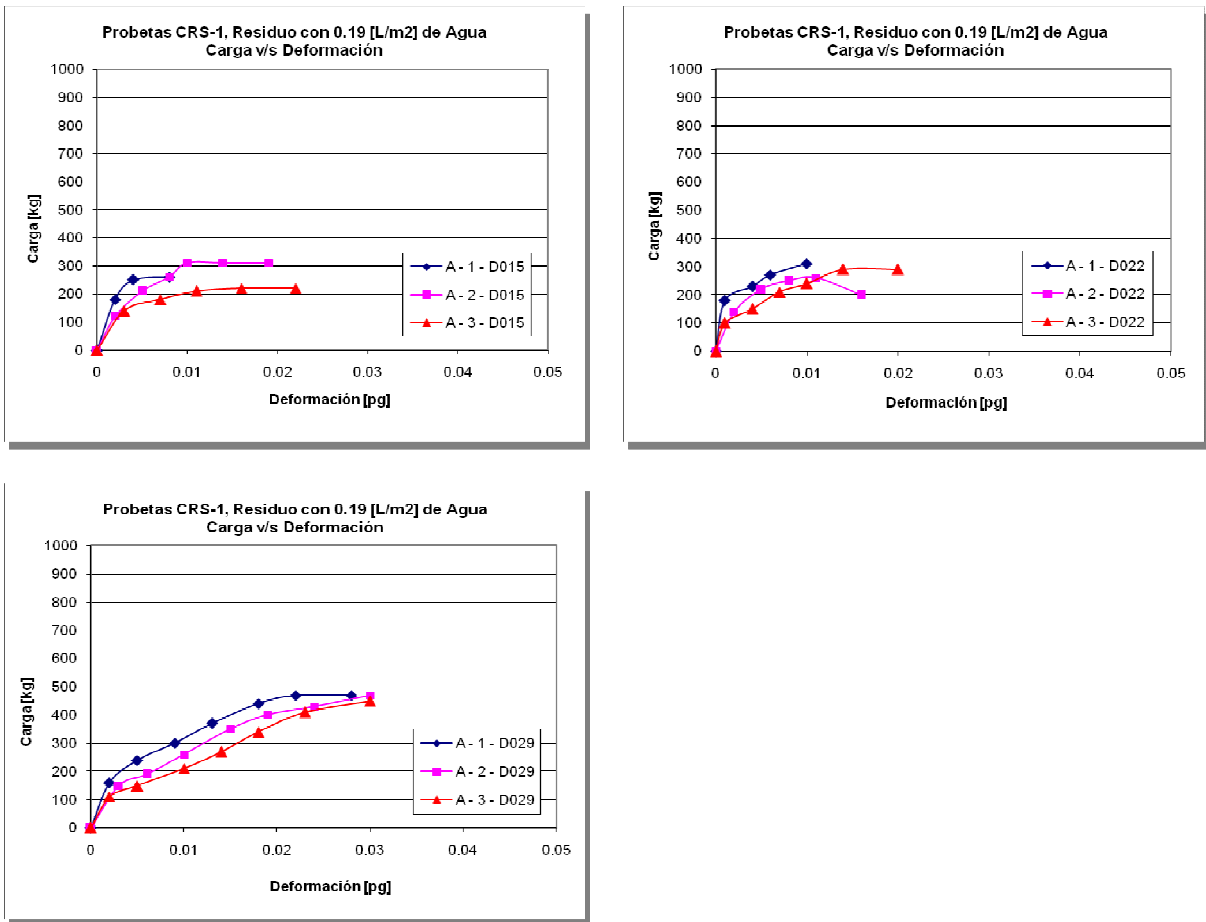


Figura N° 4.10: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Agua.

Tabla N° 4.26: Carga Máxima. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con agua.

Fecha Ensayo	N° Probeta	Peso Probeta [kg]	Peso Constante [kg]	Peso Total [kg]	Lectura Carga Max[kg]	Deformación [mm]	Corrección Lectura[kg]	CARGA TOTAL [kg]
03-Jul	A - 1 - D015	1.735	15.435	17.170	260	0.203	261	278.2
23-Jul	A - 2 - D015	1.733	15.435	17.168	310	0.483	312	328.7
23-Jul	A - 3 - D015	1.738	15.435	17.173	220	0.559	221	237.7
03-Jul	A - 1 - D022	1.730	15.435	17.165	310	0.254	312	328.7
23-Jul	A - 2 - D022	1.737	15.435	17.173	260	0.406	261	278.2
23-Jul	A - 3 - D022	1.729	15.435	17.164	290	0.508	291	308.5
03-Jul	A - 1 - D029	1.737	15.435	17.172	470	0.711	473	490.4
23-Jul	A - 2 - D029	1.734	15.435	17.170	470	0.762	473	490.4
23-Jul	A - 3 - D029	1.734	15.435	17.170	450	0.762	453	470.2

Tabla N° 4.27: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Agua.

N° Probeta	CARGA TOTAL [kg]	CORTE [kg]	CORTE [kN]	Área [cm ²]	Tensión [kgf/cm ²]	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]
A - 1 - D015	278.2	139.1	1.363	81.073	1.716	0.17	0.17
A - 2 - D015	328.7	164.4	1.611	81.073	2.027	0.20	
A - 3 - D015	237.7	118.9	1.165	81.073	1.466	0.14	
A - 1 - D022	328.7	164.4	1.611	81.073	2.027	0.20	0.18
A - 2 - D022	278.2	139.1	1.363	81.073	1.716	0.17	
A - 3 - D022	308.5	154.3	1.512	81.073	1.903	0.19	
A - 1 - D029	490.4	245.2	2.403	81.073	3.025	0.30	0.29
A - 2 - D029	490.4	245.2	2.403	81.073	3.025	0.30	
A - 3 - D029	470.2	235.1	2.304	81.073	2.900	0.28	

4.2.5. Residuo contaminado con polvo.

Aplicar una dosis de residuo de 0.22 [lt/m²] según tabla N° 4.19.

Tabla N° 4.28: Dosis de Polvo sobre Residuo.

N° Probeta	Peso inicial P + M [kg]	Peso Final P + M [kg]	P. C. [kg]	Área [cm ²]	C [kg/m ²]	C [kg/m ²]	C [kg/m ²]
P - 1 - D015	2.4876	2.4881	0.0005	81.073	0.062	0.066	0.08
P - 2 - D015	2.4418	2.4425	0.0007	81.073	0.086		
P - 3 - D015	2.4605	2.4609	0.0004	81.073	0.049		
P - 1 - D022	2.4885	2.4891	0.0006	81.073	0.074	0.086	0.078
P - 2 - D022	2.4632	2.4642	0.0010	81.073	0.123		
P - 3 - D022	2.4678	2.4683	0.0005	81.073	0.062		
P - 1 - D029	2.4430	2.4438	0.0008	81.073	0.099	0.078	0.078
P - 2 - D029	2.4703	2.4707	0.0004	81.073	0.049		
P - 3 - D029	2.5342	2.5349	0.0007	81.073	0.086		

P + M = Probeta de una capa + Molde marshall

P. C. = Peso del Contaminante

C = Contaminación

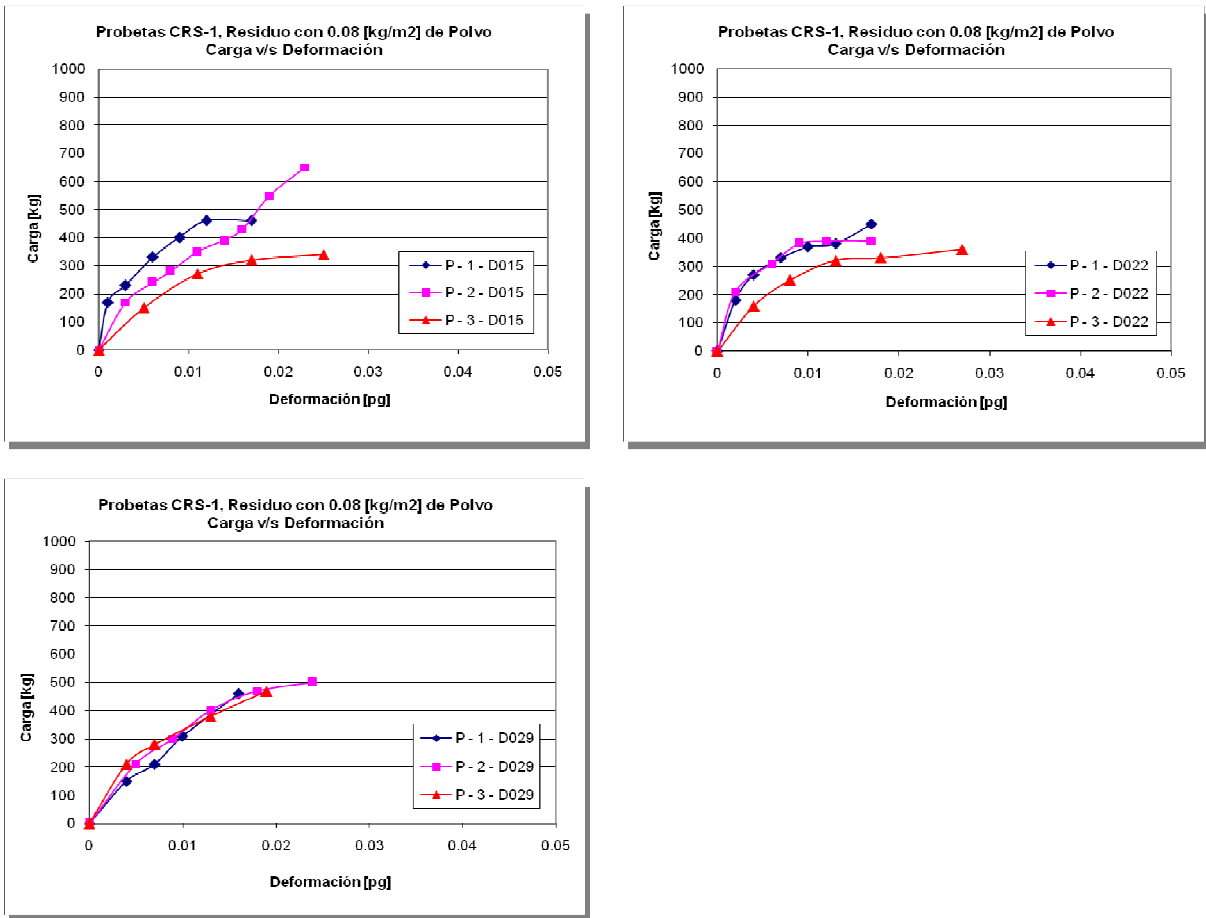


Figura N° 4.11: Gráficos de Ensayos LCB. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Polvo.

Tabla N° 4.29: Carga Máxima. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con polvo.

Fecha Ensayo	N° Probeta	Peso Probeta [kg]	Peso Constante [kg]	Peso Total [kg]	Lectura Carga Max[kg]	Deformación [mm]	Corrección Lectura[kg]	CARGA TOTAL [kg]
03-Jul	P - 1 - D015	1.736	15.435	17.171	460	0.432	463	480.3
03-Jul	P - 2 - D015	1.734	15.435	17.170	760	0.737	766	783.2
23-Jul	P - 3 - D015	1.732	15.435	17.167	340	0.635	342	359.1
03-Jul	P - 1 - D022	1.736	15.435	17.172	450	0.432	453	470.2
03-Jul	P - 2 - D022	1.735	15.435	17.170	390	0.432	392	409.6
23-Jul	P - 3 - D022	1.737	15.435	17.172	360	0.686	362	379.3
03-Jul	P - 1 - D029	1.735	15.435	17.170	460	0.406	463	480.3
03-Jul	P - 2 - D029	1.739	15.435	17.175	500	0.610	504	520.7
23-Jul	P - 3 - D029	1.736	15.435	17.172	470	0.483	473	490.4

Tabla N° 4.30: Tensión Promedio de Corte. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Polvo.

N° Probeta	CARGA TOTAL [kg]	CORTE [kg]	CORTE [kN]	Área [cm ²]	Tensión [kgf/cm ²]	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]
P - 1 - D015	480.3	240.2	2.354	81.073	2.962	0.29	0.33
P - 2 - D015	783.2	391.6	3.838	81.073	4.830	0.47	
P - 3 - D015	359.1	179.5	1.759	81.073	2.214	0.22	
P - 1 - D022	470.2	235.1	2.304	81.073	2.900	0.28	0.25
P - 2 - D022	409.6	204.8	2.007	81.073	2.526	0.25	
P - 3 - D022	379.3	189.6	1.858	81.073	2.339	0.23	
P - 1 - D029	480.3	240.2	2.354	81.073	2.962	0.29	0.30
P - 2 - D029	520.7	260.4	2.552	81.073	3.212	0.31	
P - 3 - D029	490.4	245.2	2.403	81.073	3.025	0.30	

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Criterios de Aceptación

Inicialmente se calcula una tensión promedio para cada condición y emulsión especificada. Luego se obtendrá el valor máximo para cada caso y finalmente una “tensión corregida”.

Para calcular la “tensión corregida” se descartaran aquellos valores que no sean representativos o comparables con las probetas de similares características. Se utilizaran una serie de evaluaciones para aceptar o no un resultado:

- Primero se descartaran aquellas probetas hayan presentado alguna anomalía durante el proceso de construcción o durante su ensayo.
- Luego evaluaremos la desviación estándar. Aquel valor superior a 0.1 será revisado y se descartará el resultado mas alejado del promedio.
- Por ultimo se descartaran aquellos resultados que claramente no sean comparables con sus pares.

5.2. Análisis de variables

5.2.1. Probetas Monolíticas y sin emulsión

Se construyeron probetas monolíticas y probetas doble capa sin aplicación de riego para utilizarlas como medios de referencia. En el caso de las monolíticas como resultados “ideales” y en el caso de las probetas sin emulsión, como valores mínimos.

El porcentaje de adherencia se calculara en función de las probetas monolíticas.

Tabla N° 5.1: Tensiones Corregidas. Probetas Monolíticas y Sin Riego.

N° Probeta	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]	Criterio DESVEST > 0.10	Tensión Máxima [MPa]	Tensión Corregida [MPa]	% Adherencia
MO - 1	0.67	0.66	0.032	0.69	0.66	100
MO - 2	0.65					
MO - 3	0.67					
MO - 4	0.61					
MO - 5	0.69					
SE - 1	0.39	0.34	0.084	0.40	0.37	56.5
SE - 2	0.40					
SE - 3	0.19 *					
SE - 4	0.35					
SE - 5	0.34					

En la Tabla N° 5.1 se descartó la probeta N° SE – 3 ya que claramente el resultado no es comparable con las otras cuatro probetas.

5.2.2. Variación de Dosis de residuo aplicada

Se analizaran las cuatro emulsiones elegidas y se obtendrán las dosis optimas en función de las ecuaciones de las líneas de tendencia y de las curvaturas de los gráficos correspondientes.

5.2.2.1. Probetas con emulsión CSS-1H.

Tabla N° 5.2: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión CSS - 1H.

N° Probeta	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]	Criterio DESVEST > 0.10	Tensión Máxima [MPa]	Tensión Corregida [MPa]	% Adherencia
C1H - 1 - D007	0.40	0.41	0.013	0.42	0.41	63.1
C1H - 2 - D007	0.42					
C1H - 3 - D007	0.42					
C1H - 1 - D015	0.41 **	0.47	0.060	0.54	0.49	74.8
C1H - 2 - D015	0.50					
C1H - 3 - D015	0.54					
C1H - 4 - D015	0.44					
C1H - 1 - D022	0.46	0.45	0.076	0.53	0.45	68.9
C1H - 2 - D022	0.53					
C1H - 3 - D022	0.38					
C1H - 1 - D029	0.41	0.44	0.031	0.47	0.44	67.7
C1H - 2 - D029	0.47					
C1H - 3 - D029	0.45					
C1H - 1 - D037	0.39	0.40	0.018	0.42	0.40	60.6
C1H - 2 - D037	0.39					
C1H - 3 - D037	0.42					
C1H - 1 - D044	0.31	0.40	0.076	0.45	0.40	61.2
C1H - 2 - D044	0.45					
C1H - 3 - D044	0.44					

En la Tabla N° 5.2 se descartó la probeta N° C1H-1-D015 que presento problemas durante la compactación.

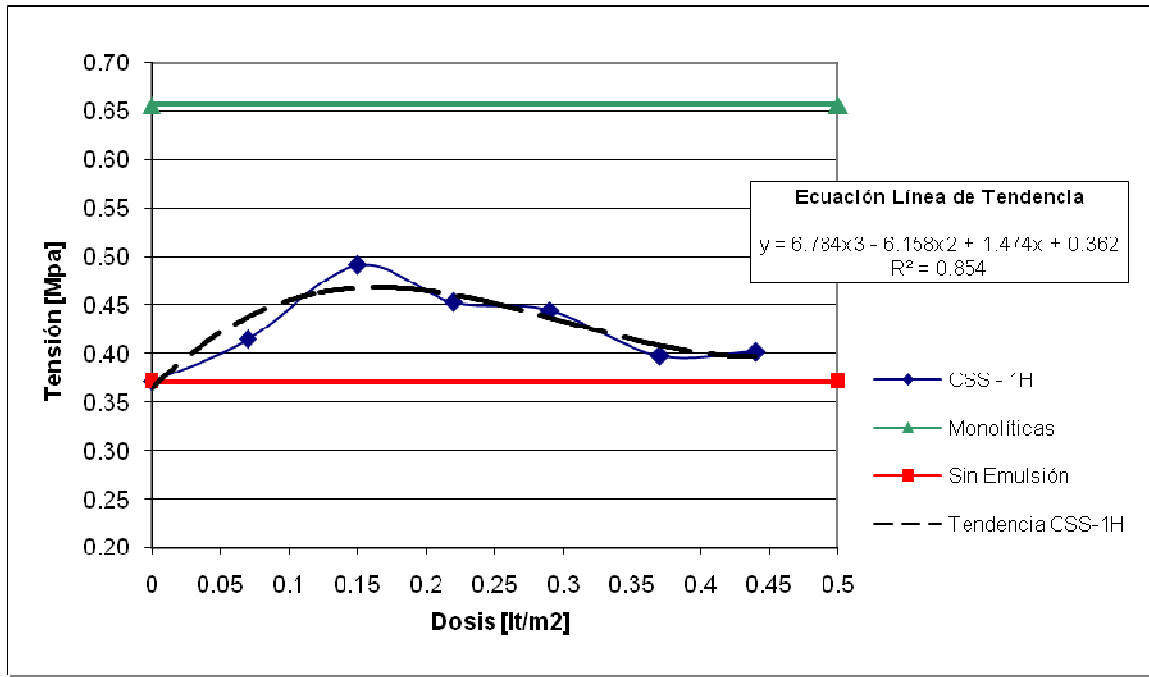


Figura N° 5.1: Gráfico Tensión v/s Dosis. Óptimo de Residuo Emulsión CSS-1H.

Obtendremos la dosis optima de residuo utilizando la ecuación de la línea de tendencia

$$Y = 6,784 \times X^3 - 6,158 \times X^2 + 1,474 \times X + 0,362$$

$$Y' = 0 = 20,352 \times X^2 - 12,316 \times X + 1,474$$

$$X_1 = 0,441$$

$$X_2 = 0,164$$

Matemáticamente tenemos 2 soluciones, X_1 y X_2 , analizando la figura N° 5.1 obtenemos como dosis optima de residuo 0.16 [lt/m²]. Dado que la solución CSS-1H se aplica diluida en partes iguales con agua y que la emulsión presenta un 63.8% de residuo, es necesario aplicar 0.50 lt/m² de solución de riego de liga.

La curvatura observada en el grafico es mas bien plana, con valores de resistencia entre 0.49 y 0.40 MPa.

Independiente de la dosis aplicada todos los resultados se mantienen sobre las probetas sin emulsión, registrándose porcentajes de adherencia de 60 a 75%.

5.2.2.2. Probetas con emulsión CRS-1

Tabla N° 5.3: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión CRS - 1.

N° Probeta	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]	Criterio DESVEST > 0.10	Tensión Máxima [MPa]	Tensión Corregida [MPa]	% Adherencia
CRS - 1 - D007	0.38	0.38	0.011	0.38	0.38	57.6
CRS - 2 - D007	0.36					
CRS - 3 - D007	0.38					
CRS - 1 - D015	0.49	0.49	0.031	0.53	0.49	75.1
CRS - 2 - D015	0.53					
CRS - 3 - D015	0.47					
CRS - 1 - D022	0.53	0.56	0.025	0.58	0.56	85.7
CRS - 2 - D022	0.58					
CRS - 3 - D022	0.58					
CRS - 1 - D029	0.30	0.34	0.044	0.39	0.34	51.6
CRS - 2 - D029	0.33					
CRS - 3 - D029	0.39					

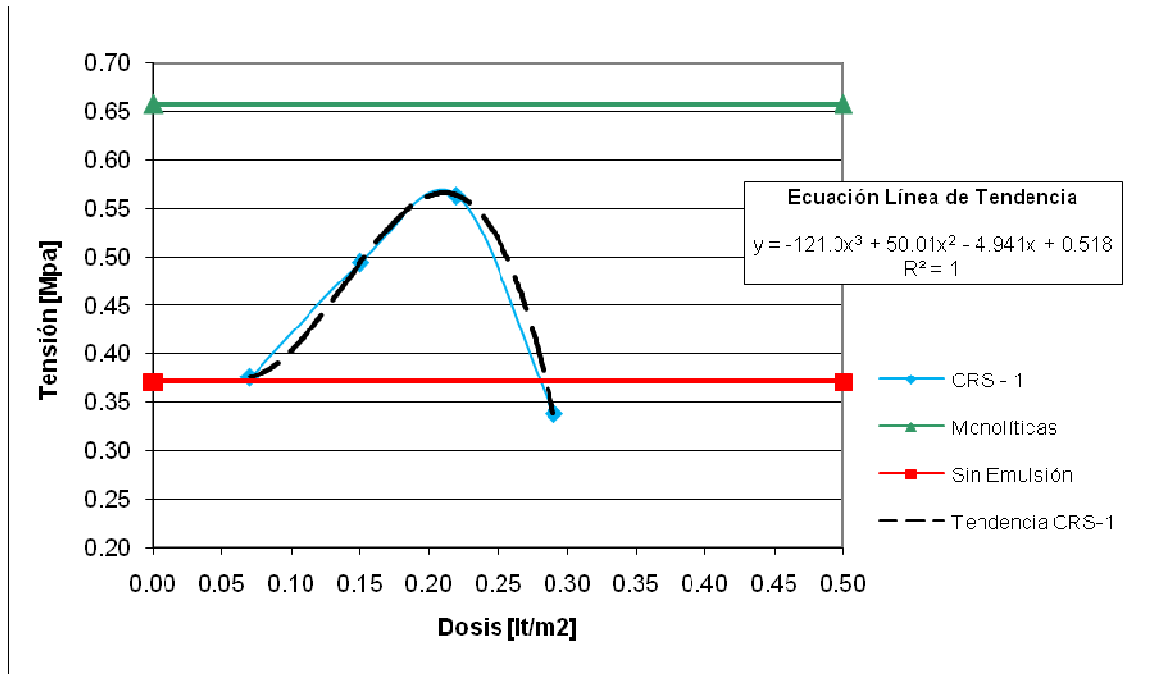


Figura N° 5.2: Gráfico Tensión v/s Dosis. Óptimo de Residuo Emulsión CRS-1.

De manera análoga al caso anterior, obtenemos la dosis óptima de residuo.

$$Y = -121,0 \times X^3 + 50,01 \times X^2 - 4,941 \times X + 0,518$$

$$Y' = 0 = -363,0 \times X^2 + 100,02 \times X - 4,941$$

$$X_1 = 0,211$$

$$X_2 = 0,065$$

Obtenemos como dosis optima de residuo 0.21 lt/m². La solución CRS-1 se aplica diluida en partes iguales con agua y la emulsión presenta un 65% de residuo, es necesario aplicar 0.65 lt/m² de solución de riego de liga.

La curvatura del grafico es bastante pronunciada, con valores de resistencia entre 0.56 y 0.34 MPa.

Se observa que aplicando 0.29 lt/m² se obtienen resultados inferiores a las probetas sin emulsión, lo mismo ocurre con 0.07 lt/m², con resultados iguales a el parámetro mínimo. Aún cuando se alcanzan porcentajes de adherencia de 85.7 % la resistencia es especialmente sensible a la dosis aplicada.

Inicialmente se pretendía trabajar con rangos de dosis de 0.07 a 0,44 lt/m², pero las características pegajosas y de rápido curado de la emulsión hicieron imposible la aplicación de dosis mayores ya que a medida que la solución era regada la pistola se comenzaba a tapar y se perdía el control del real flujo obtenido.

5.2.2.3. Probetas con emulsión Spramul ML

Tabla N° 5.4: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión Spramul ML.

N° Probeta	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]	Criterio DESVEST > 0.10	Tensión Máxima [MPa]	Tensión Corregida [MPa]	% Adherencia
SPR - 1 - D007	0.39	0.41	0.082	0.50	0.41	62.8
SPR - 2 - D007	0.50					
SPR - 3 - D007	0.35					
SPR - 1 - D015	0.41	0.42	0.045	0.47	0.42	64.3
SPR - 2 - D015	0.39					
SPR - 3 - D015	0.47					
SPR - 1 - D022	0.39	0.38	0.023	0.39	0.38	57.5
SPR - 2 - D022	0.35					
SPR - 3 - D022	0.39					
SPR - 1 - D029	0.34	0.36	0.028	0.39	0.36	55.3
SPR - 2 - D029	0.39					
SPR - 3 - D029	0.36					
SPR - 1 - D037	0.31	0.33	0.018	0.35	0.33	49.8
SPR - 2 - D037	0.35					
SPR - 3 - D037	0.33					

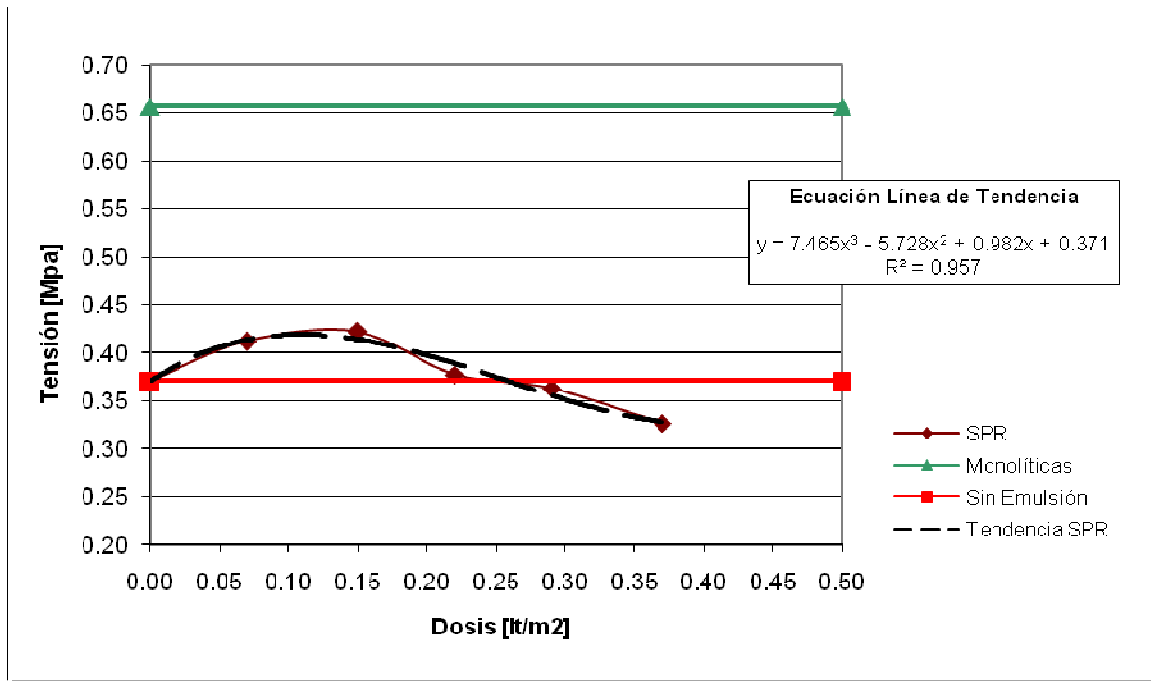


Figura N° 5.3: Gráfico Tensión v/s Dosis. Óptimo de Residuo Emulsión Spramul ML.

Obtenemos la dosis óptima de residuo.

$$Y = 7,465 \times X^3 - 5,728 \times X^2 + 0,982 \times X + 0,371$$

$$Y' = 0 = 22,395 \times X^2 - 11,456 \times X + 0,982$$

$$X_1 = 0,403$$

$$X_2 = 0,109$$

Matemáticamente obtenemos como dosis óptima de residuo 0.11 lt/m². La solución Spramul ML se aplica diluida en partes iguales con agua y la emulsión presenta un 69.5% de residuo, es necesario aplicar 0.32 lt/m² de solución de riego de liga.

La curvatura observada es levemente plana, con valores de resistencia entre 0.42 y 0.33 MPa.

Si se aplican dosis iguales o mayores a 0.29 lt/m² se obtienen resultados inferiores a las probetas sin emulsión. Se alcanzan porcentajes de adherencia de 54.3 a 49.8 %.

5.2.2.4. Probetas con emulsión Experimental M1

Tabla N° 5.5: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión M1.

N° Probeta	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]	Criterio DESVEST > 0.10	Tensión Máxima [MPa]	Tensión Corregida [MPa]	% Adherencia
M1 - 1 -D007	0.53	0.55	0.019	0.56	0.55	83.5
M1 - 2 -D007	0.56					
M1 - 3 -D007	0.55					
M1 - 1 -D015	0.71 ***	0.61	0.090	0.71	0.57	86.0
M1 - 2 -D015	0.60					
M1 - 3 -D015	0.53					
M1 - 1 -D022	0.56	0.53	0.042	0.56	0.56	85.0
M1 - 2 -D022	0.56					
M1 - 3 -D022	0.49 **					
M1 - 1 -D029	0.25 **	0.46	0.192	0.63	0.57	86.0
M1 - 2 -D029	0.50					
M1 - 3 -D029	0.63					
M1 - 1 -D037	0.57	0.54	0.028	0.57	0.54	82.2
M1 - 2 -D037	0.53					
M1 - 3 -D037	0.52					
M1 - 1 -D044	0.42	0.42	0.019	0.44	0.42	64.3
M1 - 2 -D044	0.44					
M1 - 3 -D044	0.41					

En la Tabla N° 5.5 se descartaron las probetas N° M1-3-D022 y M1-1-D029 que presentaron problemas durante la compactación y la probeta N° M1-1-D015 que fue ensayada de manera incorrecta.

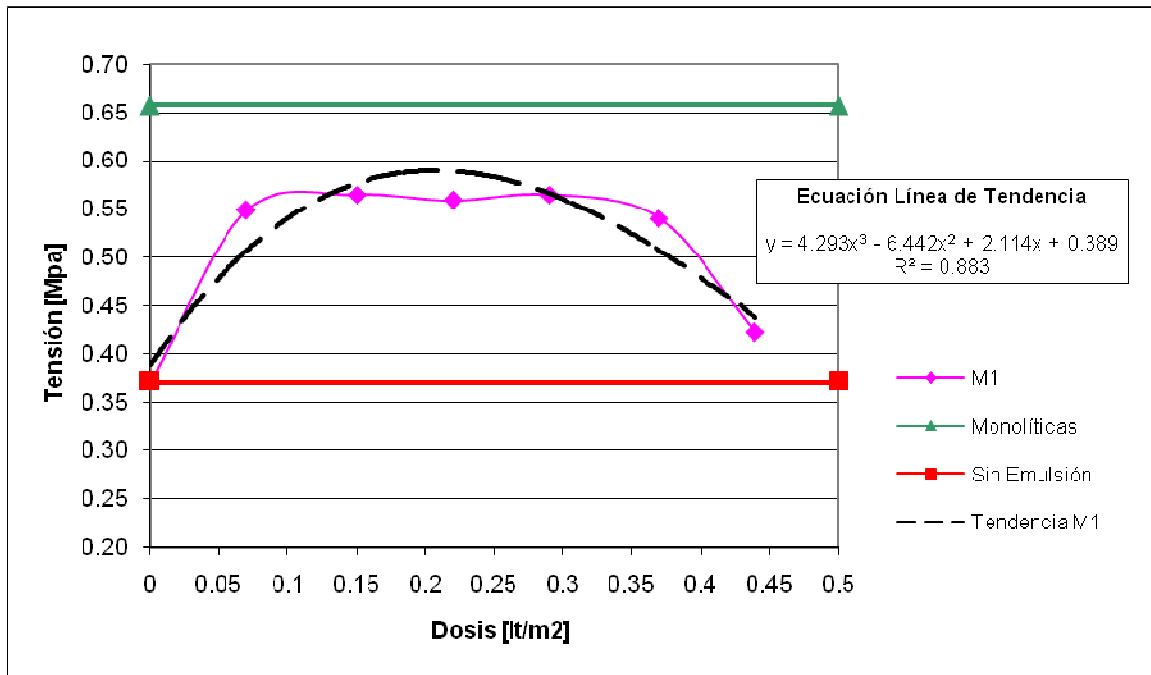


Figura N° 5.4: Gráfico Tensión v/s Dosis. Óptimo de Residuo Emulsión M1.

Obtenemos la dosis óptima de residuo.

$$Y = 4,293 \times X^3 - 6,442 \times X^2 + 2,114 \times X + 0,389$$

$$Y' = 0 = 12,879 \times X^2 - 12,884 \times X + 2,114$$

$$X_1 = 0,794$$

$$X_2 = 0,207$$

Se optó por no tratar de ajustar líneas de tendencia con potencias superiores al tercer grado. A raíz de esto, la línea obtenida no es la mejor.

Se calculó como dosis óptima de residuo 0.21 lt/m². Se aplicó sin diluirse dado el porcentaje de residuo de la emulsión [34]. Es necesario aplicar 0.81 lt/m² de solución de riego de liga.

Sin embargo, dado que no se presentan mayores diferencias en los resultados, es posible considerar valores de 0.10 a 0.30 lt/m² de residuo.

La curvatura observada en el gráfico es suave y plana, con valores de resistencia estables en torno a 0.56 MPa.

5.2.2.5. Testigos con emulsión CRS-1.

Los siguientes testigos se ensayaron con el fin de evaluar el efecto de la extracción mediante testiguera en la junta de adherencia.

Se utilizó la emulsión CRS-1 por condiciones de disponibilidad, además de ser utilizada en terreno por sus características de rápido quiebre.

El porcentaje de adherencia se calcula en función de los testigos monolíticos (100%).

Tabla N° 5.6: Tensiones Corregidas. Testigos con Emulsión CRS-1.

N° Probeta	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]	Criterio DESVEST > 0.10	Tensión Máxima [MPa]	Tensión Corregida [MPa]	% Adherencia
T - 1 - SE	0.33	0.30	0.047	0.35	0.30	37.2
T - 2 - SE	0.35					
T - 3 - SE	0.25					
T - 4 - SE	0.27					
T - 1 - MO	0.84	0.80	0.070	0.84	0.80	100
T - 2 - MO	0.72					
T - 3 - MO	0.84					
T - 1 - D007	0.38	0.36	0.026	0.38	0.36	44.8
T - 2 - D007	0.34					
T - 1 - D015	0.35	0.34	0.004	0.35	0.34	42.9
T - 2 - D015	0.34					
T - 1 - D022	0.38	0.39	0.017	0.40	0.39	48.6
T - 2 - D022	0.40					
T - 1 - D029	0.42	0.37	0.073	0.42	0.37	46.0
T - 2 - D029	0.31					

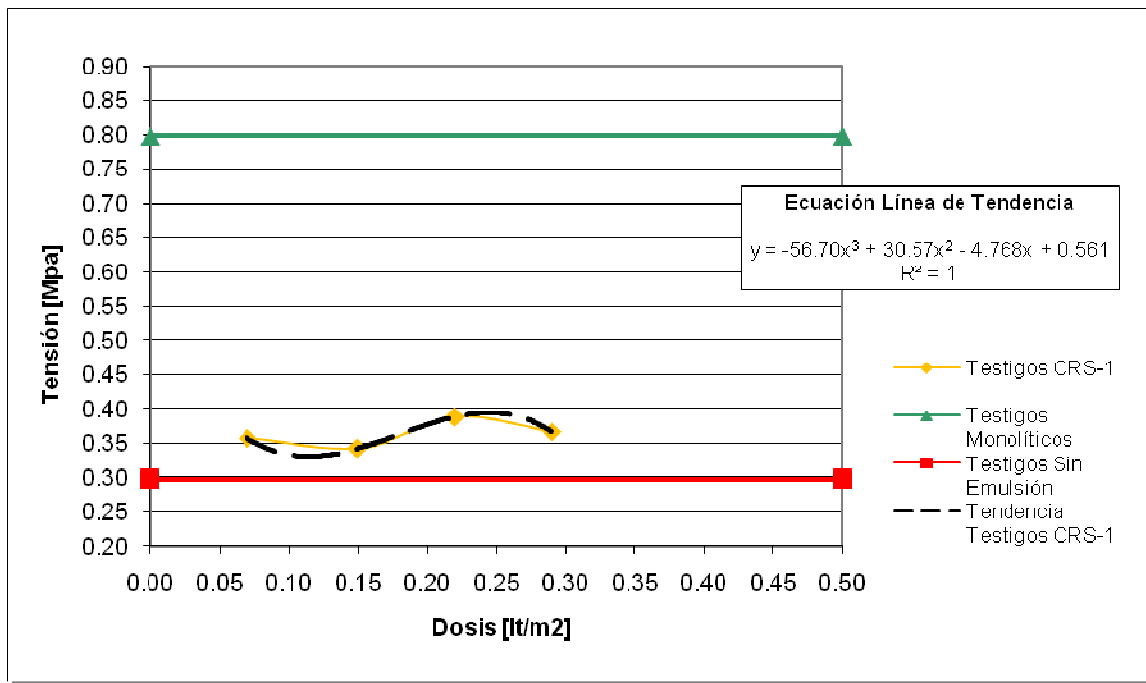


Figura N° 5.5: Gráfico Tensión v/s Dosis. Óptimo de Residuo. Testigos con Emulsión CRS-1.

Obtenemos la dosis óptima de residuo.

$$Y = -56,70 \times X^3 + 30,57 \times X^2 - 4,768 \times X + 0,561$$

$$Y' = 0 = -170,1 \times X^2 + 61,14 \times X - 4,768$$

$$X_1 = 0,245$$

$$X_2 = 0,114$$

Se tiene como dosis óptima de residuo 0.25 lt/m². Dadas las características de la emulsión CRS-1, es necesario aplicar 0.77 lt/m² de solución de riego de liga.

La curvatura del gráfico es levemente plana, con valores de resistencia más o menos constantes entre 0.39 y 0.34 MPa.

Independiente de la dosis aplicada todos los resultados se mantienen sobre los testigos sin emulsión, registrándose porcentajes de adherencia de 46 a 48.6%.

5.2.3. Tipos de Emulsiones.

Se compararan las 4 emulsiones ensayadas con sus diferentes dosis en función de las tensiones máximas y las tensiones corregidas.

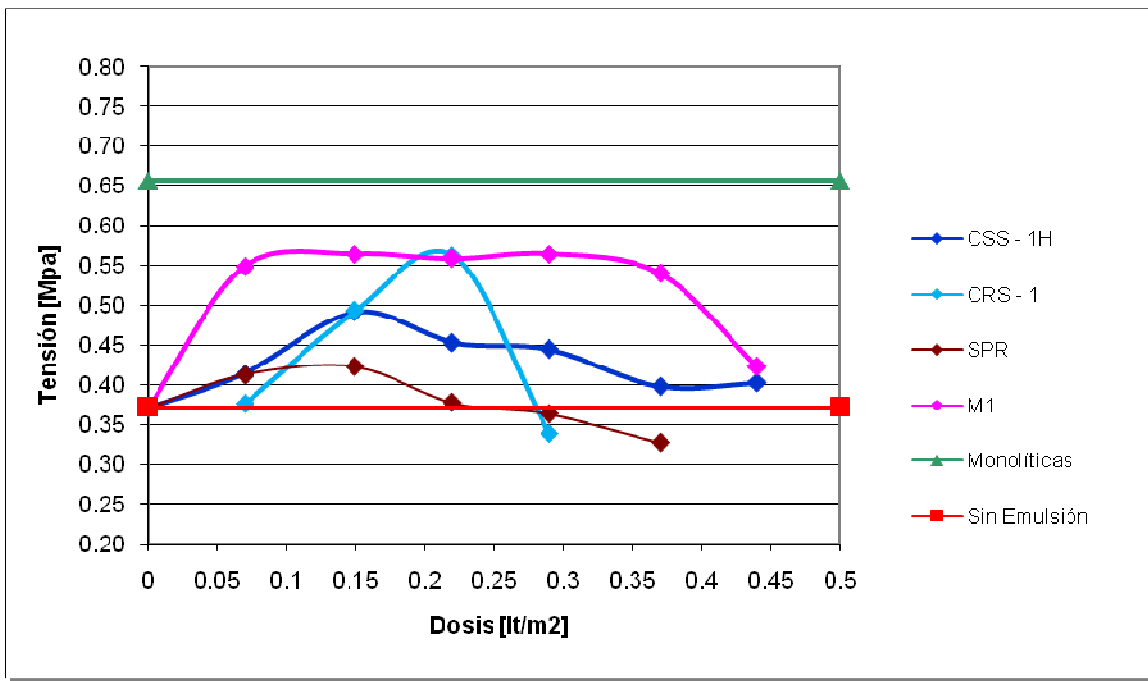


Figura N° 5.6: Gráfico Tensión Corregida v/s Dosis. Comparación de Emulsiones.

En el gráfico se observa que las emulsiones M1 y CRS-1 son las que presentan valores de tensión mas altos, cercanos a 0.56 MPa. Resultado que les entrega un porcentaje de adherencia del orden del 86% en relación a las probetas monolíticas.

Sin embargo, se observa claramente la diferencia entre la curva CRS-1 y las demás emulsiones, cuyas curvaturas son menos pronunciadas. Esto hace que cualquier variación en la dosis aplicada afecte importantemente en la resistencia obtenida.

Independiente de la dosis de residuo aplicada la emulsión la emulsión M1 presenta las resistencias mas altas, con resultados estables en torno a los 0.56 MPa.

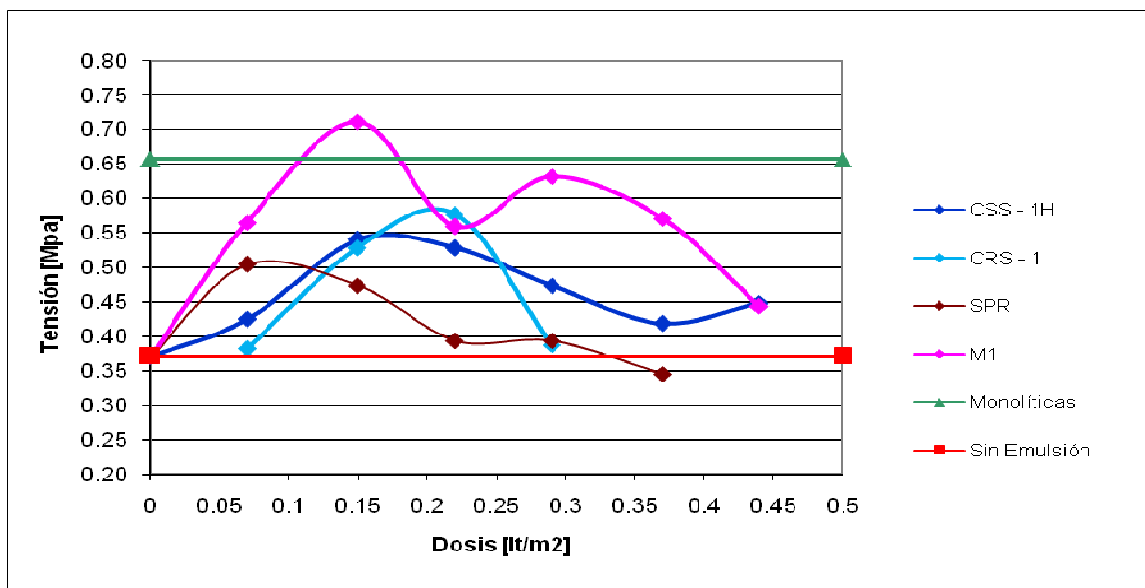


Figura N° 5.7: Gráfico Tensión Máxima v/s Dosis. Comparación de Emulsiones.

La curva M1 presenta un valor de tensión por sobre las probetas monolíticas. No obstante, este valor no se considero en el cálculo de la tensión corregida, por haber sido ensayado de manera incorrecta. En general en la Figura N° 5.7 no se observan resultados relevantes.

5.2.4. Propiedades Físicas y Químicas de la emulsiones

La tabla N° 5.7 permite comparar los diferentes ensayos a los que son sometidos las emulsiones, aún cuando las especificaciones son levemente diferentes en algunos casos

Tabla N° 5.7: Comparación de Propiedades Físicas y Químicas de las emulsiones.

EMULSIÓN	CSS-1H	CRS-1	SPR	M1
ENSAYES	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, (s)	36	79 (VSF a 50°C)	37	24 (VSU en SSU a 25°C)
Estabilidad al almacenamiento, 1 día, (%)	0.02	0.4	-	-
Carga de Partícula	Positiva	Positiva	Positiva	Positiva
Mezcla por cemento, (%)	0.02	-	-	-
Ensayo de Tamizado, (%)	0.02	-	0.06	0.02
Demulsibilidad (dioctil sulfo de Na), (%)	-	64.6	-	-
Ensayo de Tamizado, (%)	-	0	-	-
DESTILACIÓN				
Aceite, (%)	-	0.5	-	-
Residuo (%)	63.8	65	69.5	26
Residuo de Solución (%)	31.9	32.5	34.8	26
ANÁLISIS AL RESIDUO				
Penetración a 25°C, 100g, 5s, (0.1 mm.)	50	116	59	56
Punto de Ablandamiento, (°C)			59	60
Ductilidad de Residuo a 25°C, 5cm/min, (cm)	> 150	> 150	62	
Índice de Penetración, (IP)	-	-	1.3	1.32
Recuperación Elástica a 13°C, 20 cm, 1hr, (%)	-	-	56	53
Solubilidad en tricloroetileno, (%)	99	99.5	-	-
Ensayo de la mancha Hep./Xilol, (% xilol)	< 25	< 25	-	-

La carga de partícula es positiva en todos los casos.

Considerando que el valor máximo para el ensayo de tamizado de es 0.1%, se destaca el resultado de 0.06% obtenido por la emulsión SPR contra lo 0.02% de las demás. Esto se debería a la presencia de polímeros en la composición de la emulsión.

Al analizar el residuo es necesario considerar que la emulsión M1 se aplicó directamente sin mezclar con agua. Para realizar una comparación se calculó el valor “Residuo de Solución”. Con este nuevo valor todos los resultados se encuentran en torno a los 30% ± 5%.

Inicialmente se eligieron emulsiones que tuvieran la misma clasificación de viscosidad (valor 1 en este caso). Ya que algunos de los ensayos de viscosidad se realizaron en distintas condiciones se hace necesario realizar una conversión a unidades de Viscosidad Cinemática. Según lo indicado en el Volumen N°8, Cap.8.302.14 del Manual de Carreteras. Los siguientes son los cálculos realizados:

$$SU_{S_t} = SU_{S_{38^\circ C}} \times (1 + 0.00011 \times (t - 38))$$

$$SU_{S_{38^\circ C}} = 4.632 \times v + \frac{1 + 0.03264 \times v}{(3930.2 + 262.7 \times v + 23.97 \times v^2 + 1.646 \times v^3)} \times 10^{-5}$$

Donde: SU_{S_t} : Viscosidad Saybolt Universal a t°C.

$SU_{S_{38^\circ C}}$: Viscosidad Saybolt Universal a 38°C en Saybolt Universal Segundos equivalente a Viscosidad Cinemática en centistokes a t°C.

v: Viscosidad Cinemática (cSt a t°C)

En el caso de la emulsión M1 tenemos $SU_{S_{25^\circ C}} = 24$ y $SU_{S_{38^\circ C}} = 24.034$

Obtenemos $v = -0.37y - 13.63$

Desafortunadamente los resultados obtenidos para la emulsión experimental M1 se encuentran fuera de escala y no permiten comparar de manera adecuada. Además la metodología solo permite calcular Viscosidad Saybolt Furor a 50 o 99°C. Sin embargo, en términos de Viscosidad (VSF) todas las emulsiones presentan valores bajos y de acuerdo a las características de su tipo, salvo la emulsión CRS-1 que es ensayada a 50°C, todos los resultados son comparables y se encuentran en torno a los 30 seg.

El resultado mas interesante se observa en el ensayo de “Penetración a 25°C”. Como se puede observar en la tabla N° 5.8, si bien las especificaciones son levemente diferentes, se aprecia que la emulsión CRS-1 alcanza un valor cercano al doble de las demás emulsiones ensayadas. Esto podría explicar la forma de la curvatura apreciada en las figuras N° 5.2 y 5.6. Al ser el residuo mas blando la dosis aplicada resulta mas relevante.

Tabla N° 5.8: Resultados Ensayos de Penetración y Viscosidad.

EMULSIÓN	CSS-1H	CRS-1	SPR	M1
Penetración a 25°C, 100g, 5s, (0.1 mm.)	50	116	59	56
Especificación NCh 2340-99	Min. 40 - Máx. 90	Min. 100 - Máx. 250	Min. 50 - Máx. 90	-

5.2.5. Comparación entre Probetas y Testigos con emulsión CRS – 1.

Dado que los controles en terreno son realizados comúnmente mediante la extracción de testigos, resulta necesario comparar las probetas construidas con algún tipo de testigo como los obtenidos a partir de las probetas WTT de doble capa.

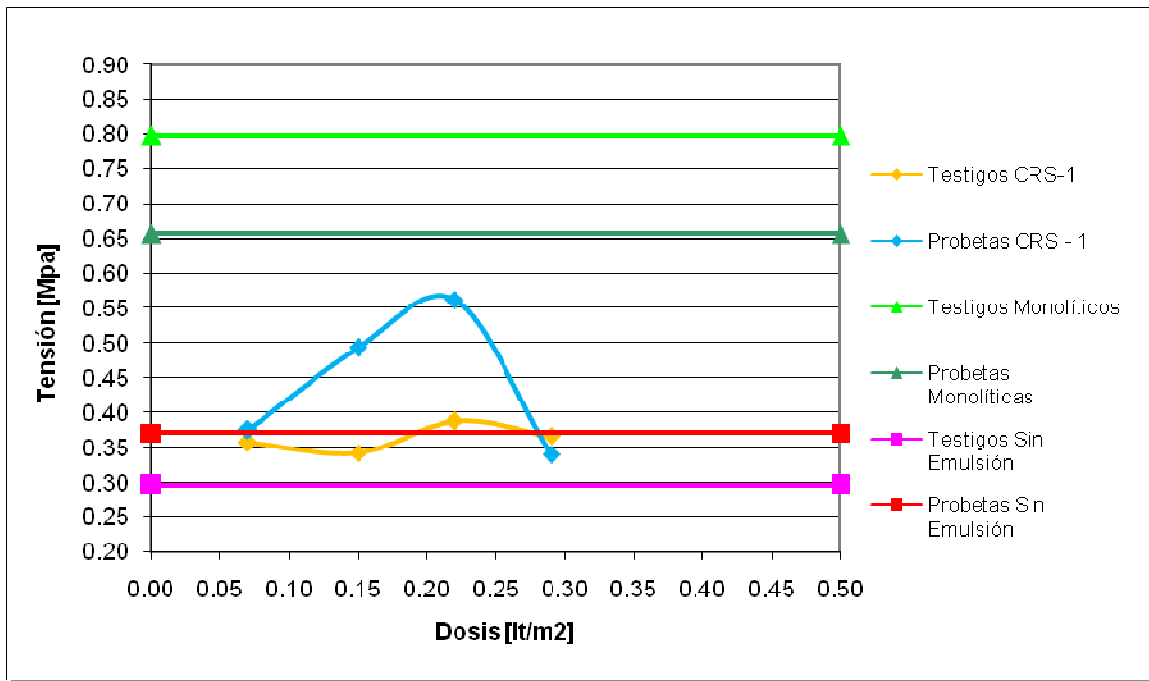


Figura N° 5.8: Gráfico Tensión v/s Dosis. Comparación de Probetas y Testigos CRS-1.

Al analizar ambos casos por separado se obtuvieron dosis óptimas similares, 0.21 lt/m² para las Probetas CRS-1 y 0.25 lt/m² para los Testigos CRS-1.

Se observa que las tensiones resistidas por las “Probetas CRS-1” son mayores que las resistidas por los “Testigos CRS-1”, para las probetas doble capa con y sin emulsión. Lo que se explicaría por la metodología utilizada para extraer los testigos. El hecho de que la Testiguera gire a altas revoluciones y utilice agua puede iniciar prematuramente la falla de adherencia aún antes de realizado el ensayo LCB.

Contrariamente los Testigos Monolíticos presentan una mayor tensión que las Probetas Monolíticas. En la superficie lateral de los testigos se aprecian los fragmentos de árido cortados por la acción de la broca diamantada, por el contrario en las probetas, producto de los moldes, se produce un “efecto de pared” el que concentra los áridos de menor tamaño en el exterior de la probeta junto con una mayor cantidad de cemento asfáltico. Al aplicarse el LCB a los testigos las partículas de mayor tamaño de la superficie se encuentran directamente en el plano de corte, por lo tanto debieran resistir una mayor tensión.

5.2.6. Comparación de Emulsiones CSS - 1H y Spramul ML.

Dado que la diferencia de ambas emulsiones radica en la existencia de polímeros en la emulsión denominada Spramul ML, se compararan sus resultados.

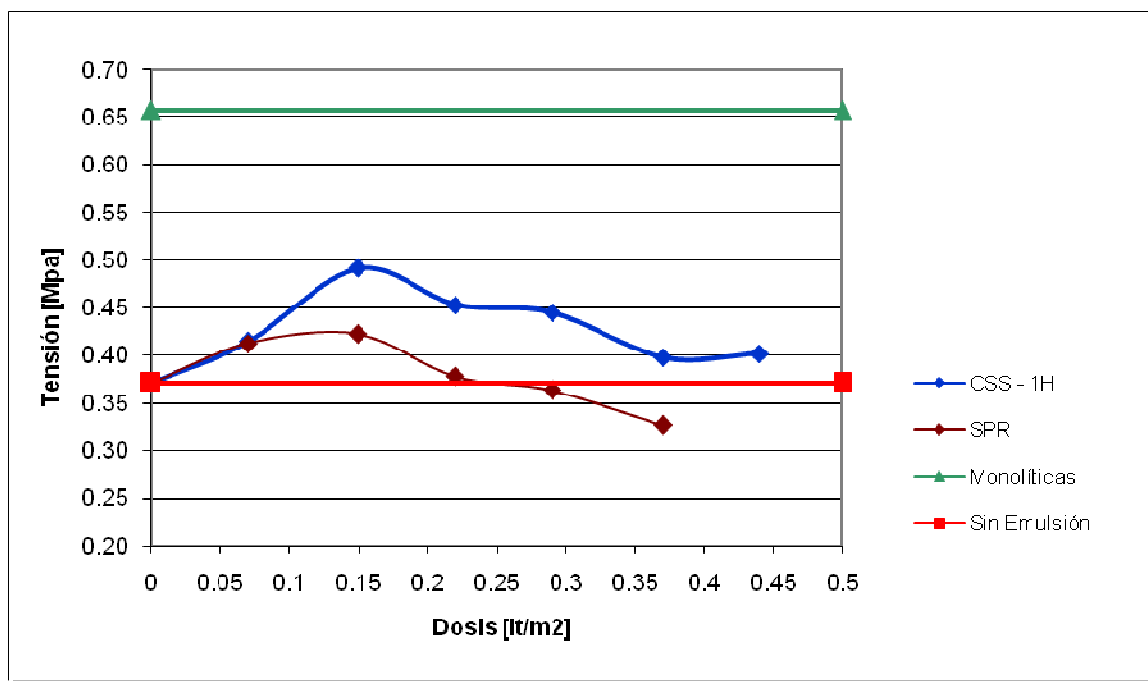


Figura N° 5.9: Gráfico Tensión v/s Dosis. Comparación Emulsiones CSS-1H y Spramul ML.

Ambas curvas presentan pendientes y curvaturas similares.

La presencia de polímeros en la emulsión SPR reduce la resistencia y hace que en algunos casos esta sea menor que en las probetas sin emulsión.

Al comparar los ensayos de corte en las Figuras N° 4.2 y 4.4, se observa que la emulsión CSS-1H permite una mayor deformación, además de una mayor resistencia. También se aprecia que la rotura de la probeta se produce de manera mas dúctil y con una pendiente mas baja que la emulsión SPR, que presenta una rotura mas frágil.

5.2.7. Disminución de la temperatura de compactación 2° capa.

Ya sea por las condiciones de transporte o por demoras propias del proceso constructivo de un firme asfáltico, es posible que sea difícil mantener la temperatura recomendada de una mezcla asfáltica antes de ser compactada.

Se analizaran las emulsiones CRS-1, por disponibilidad, y la M1 para caracterizarla de mejor manera.

5.2.7.1. Probetas con emulsión CRS-1

Tabla N° 5.9: Tensiones Corregidas. Cambio de Temperatura 2° capa. Probetas con Emulsión CRS - 1.

N° Probeta	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]	Criterio DESVEST > 0.10	Tensión Máxima [MPa]	Tensión Corregida [MPa]	% Adherencia
CRS - 1 - T140	0.42	0.38	0.037	0.42	0.38	58.1
CRS - 2 - T140	0.36					
CRS - 3 - T140	0.36					
CRS - 1 - T130	0.22	0.24	0.027	0.27	0.24	36.7
CRS - 2 - T130	0.27					
CRS - 3 - T130	0.23					
CRS - 1 - T120	0.22	0.22	0.011	0.22	0.22	33.0
CRS - 2 - T120	0.22					
CRS - 3 - T120	0.20					

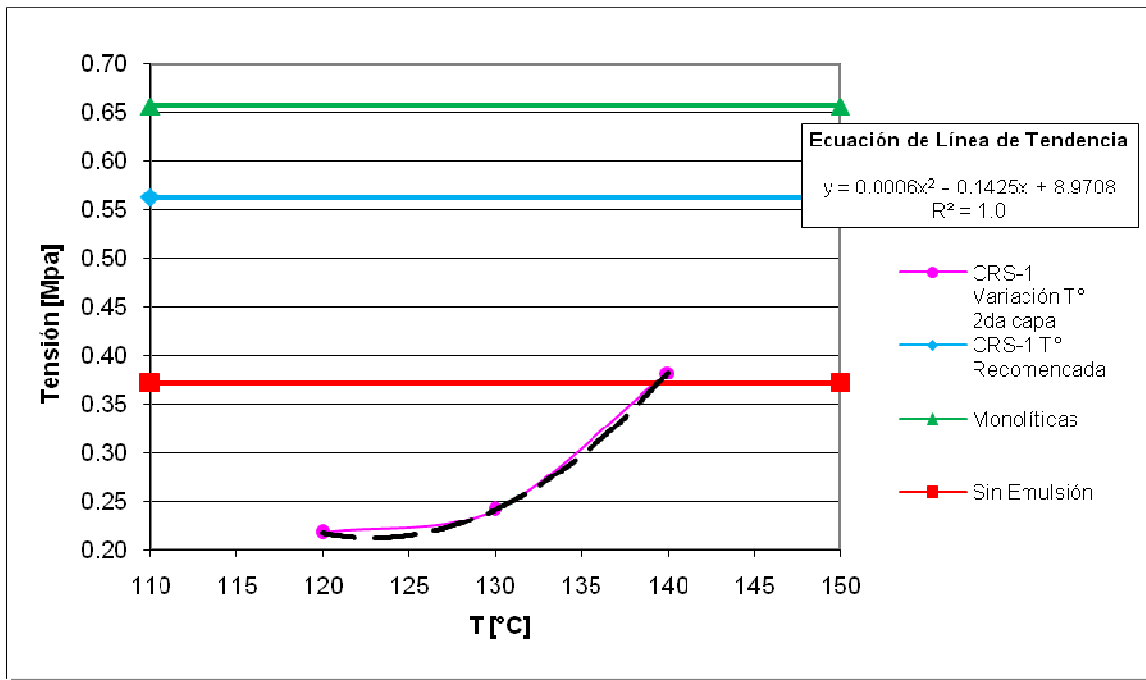


Figura N° 5.10: Gráfico Tensión Corregida v/s Variación de Temperatura 2da capa. Probetas con Emulsión CRS-1.

De acuerdo a lo esperado, aplicar la segunda capa a una temperatura inferior a la recomendada reduce su resistencia al corte hasta valores por debajo de las probetas sin emulsión. Obtenemos porcentajes de adherencia del 58 al 33%.

5.2.7.2. Probetas con emulsión Experimental M1

Tabla N° 5.10: Tensiones Corregidas. Cambio de Temperatura 2° capa. Probetas con Emulsión M1.

N° Probeta	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]	Criterio DESVEST > 0.10	Tensión Máxima [MPa]	Tensión Corregida [MPa]	% Adherencia
M1 - 1 - T140	0.42	0.36	0.055	0.42	0.36	54.7
M1 - 2 - T140	0.35					
M1 - 3 - T140	0.31					
M1 - 1 - T130	0.30	0.31	0.022	0.33	0.31	47.0
M1 - 2 - T130	0.29					
M1 - 3 - T130	0.33					
M1 - 1 - T120	0.31	0.27	0.034	0.31	0.27	41.4
M1 - 2 - T120	0.27					
M1 - 3 - T120	0.24					

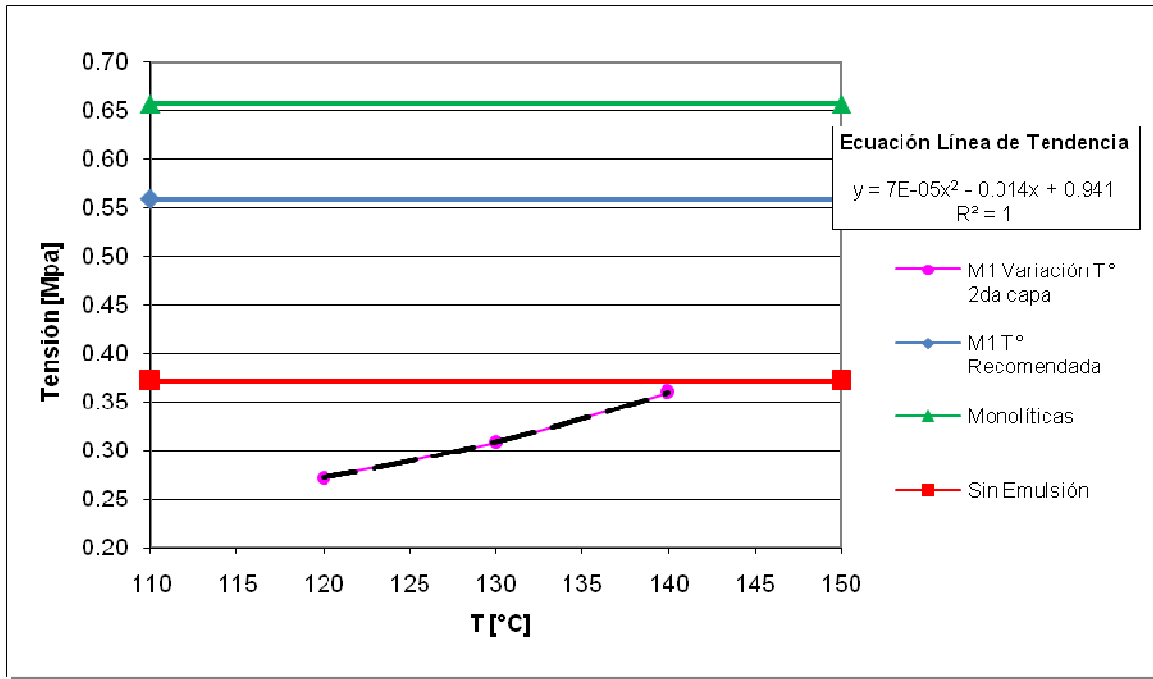


Figura N° 5.11: Gráfico Tensión Corregida v/s Variación de Temperatura 2da capa. Probetas con Emulsión M1.

Con la emulsión M1 la resistencia al corte se reduce a medida que la temperatura disminuye, al igual que con la emulsión CRS-1.

Se obtienen porcentajes de adherencia del 54.7 al 41.4%.

5.2.8. Residuo contaminado con agua.

Considerando las diversas condiciones climáticas que se presentan en el país, es probable que durante la construcción del firme se produzca algún tipo de precipitación o un exceso de humedad producto de neblinas o corrientes costeras.

El agua fue aplicada luego del quiebre de la emulsión.

Tabla N° 5.11: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Agua.

N° Probeta	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]	Criterio DESVEST > 0.10	Tensión Máxima [MPa]	Tensión Corregida [MPa]	% Adherencia
A - 1 - D015	0.17	0.17	0.028	0.20	0.17	25.9
A - 2 - D015	0.20					
A - 3 - D015	0.14					
A - 1 - D022	0.20	0.18	0.015	0.20	0.18	28.1
A - 2 - D022	0.17					
A - 3 - D022	0.19					
A - 1 - D029	0.30	0.29	0.007	0.30	0.29	44.5
A - 2 - D029	0.30					
A - 3 - D029	0.28					

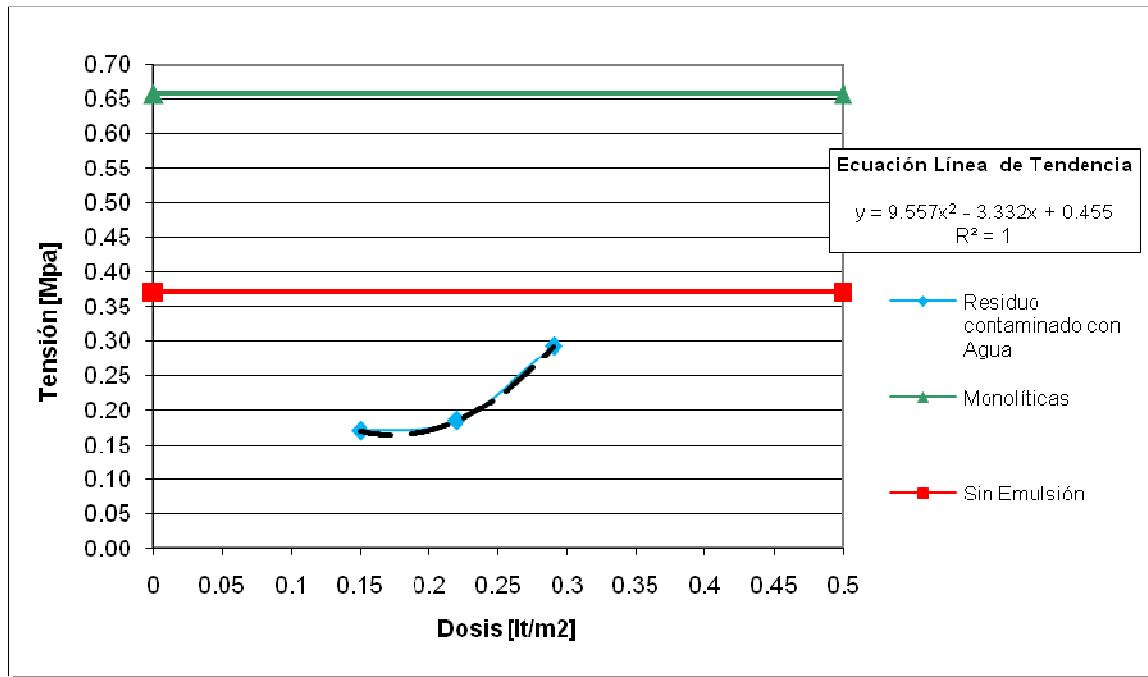


Figura N° 5.12: Gráfico Residuo contaminado con Agua.

La presencia de agua sobre el residuo reduce considerablemente la resistencia al corte de la junta de adherencia de las probetas ensayadas. Los resultados se comprueban de acuerdo a lo expresado en el Capítulo 2.2.6.

Se observa que a medida que la dosis de residuo disminuye el efecto nocivo del agua es mayor. Independiente de la dosis de residuo aplicada, todas las probetas contaminadas presentan resultados inferiores a las probetas sin emulsión.

5.2.9. Residuo contaminado con polvo.

Durante la aplicación de un riego de liga en un pavimento asfáltico, es común que los camiones y las máquinas transiten sin mayor precaución sobre las superficies recién tratadas. La posible contaminación con polvo proveniente de las ruedas o de algún acopio cercano es un caso a analizar.

El polvo fue aplicado luego del quiebre de la emulsión.

Tabla N° 5.12: Tensiones Corregidas. Probetas con Emulsión CRS - 1. Residuo contaminado con Polvo.

N° Probeta	Tensión [MPa]	Tensión Promedio [MPa]	Criterio DESVEST > 0.10	Tensión Máxima [MPa]	Tensión Corregida [MPa]	% Adherencia
P - 1 - D015	0.29	0.33	0.132	0.47	0.25	38.6
P - 2 - D015	0.47 ***					
P - 3 - D015	0.22					
P - 1 - D022	0.28	0.25	0.028	0.28	0.25	38.6
P - 2 - D022	0.25					
P - 3 - D022	0.23					
P - 1 - D029	0.29	0.30	0.013	0.31	0.30	45.7
P - 2 - D029	0.31					
P - 3 - D029	0.30					

En la Tabla N° 5.12 se descarto la probeta N° P-2-D015 que fue ensayada de manera incorrecta.

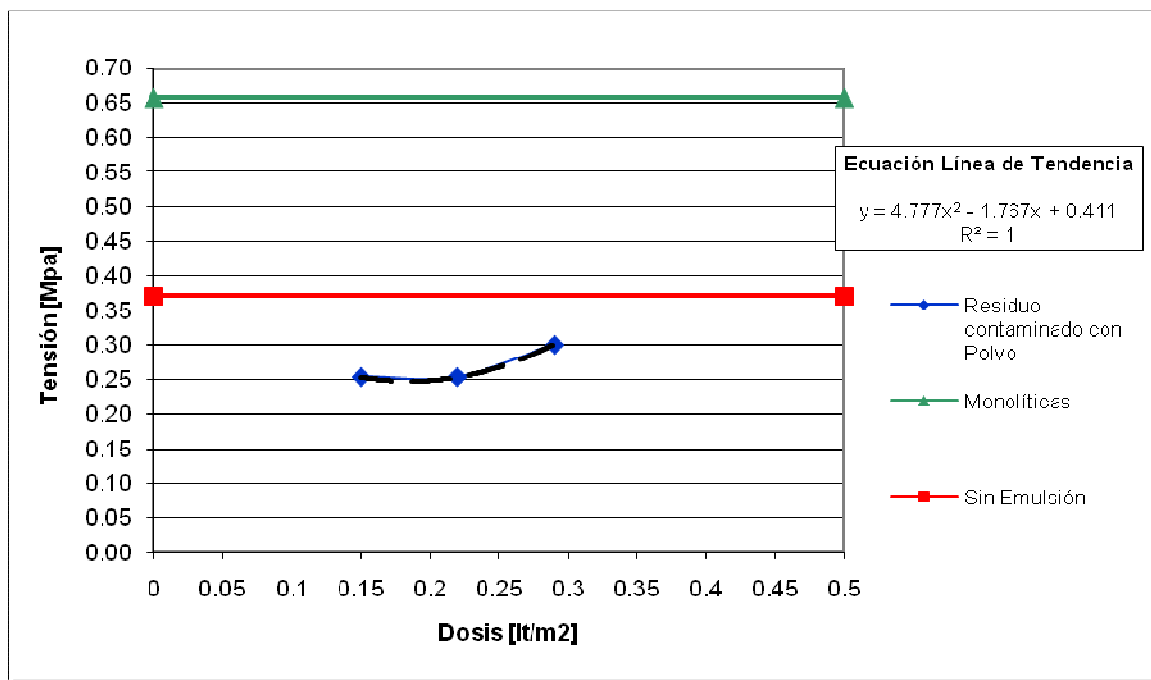


Figura N° 5.13: Gráfico Residuo contaminado con Polvo.

Al igual que en el caso del agua, la presencia de polvo en la superficie de la junta provoca una reducción en la resistencia, independiente de la dosis aplicada.

También se observa, que a medida que la dosis de residuo disminuye el afecto nocivo del polvo es mayor.

CAPÍTULO 6: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

El presente trabajo es el primero que se realiza en las dependencias del IDIEM de la U. de Chile que investiga las propiedades adherentes de las Emulsiones Asfálticas utilizadas como Riego de liga.

Se analizaron 3 emulsiones asfálticas de tipo convencional (CRS-1, CSS-1H y Spramul ML) y una experimental (M1). Tratando de determinar la importancia relativa de los distintos factores que controlan la resistencia al corte entre capas asfálticas de una carpeta.

6.1. Variables analizadas

En virtud de los resultados y de los antecedentes recopilados, es prácticamente imposible lograr que un pavimento asfáltico multicapa se comporte de manera monolítica. Sin embargo, si las condiciones son las ideales, es posible alcanzar porcentajes de adherencia sobre el 85% en función de los elementos monolíticos.

Las siguientes variables se mantuvieron constantes para todas las probetas: Mezcla IV-12, tiempo de quiebre igual a 20hrs, temperatura del ensayo LCB igual a 20°C y se diluyeron las emulsiones a razón 1:1 con agua para lograr un porcentaje de residuo en solución cercano al 30% ± 5% (salvo caso de emulsión Experimental M1).

La dosis de residuo aplicada es importante si se aplica en exceso, ya que éste actúa como un agente lubricante y se obtienen resistencias deficientes, incluso en algunos casos inferiores a las probetas doble capa sin ningún tipo de riego. De igual manera, si la dosis de residuo es mínima, éste no es capaz de aportar la adherencia necesaria y la resistencia al corte se reduce.

En general si se mantienen dosis de residuo entre 0.10 lt/m² y 0.30 lt/m² se obtienen los mejores resultados en la mayoría de los casos. No se aprecian diferencias significativas en términos de resistencia.

El caso del agua es especialmente relevante considerando las características geográficas del país. Muchos proyectos constructivos se desarrollan bajo condiciones climáticas adversas. La lluvia esta presente constantemente en el sur, y en las zonas costeras del norte y centro, la neblina puede aportar gran cantidad de humedad.

Se observó que aplicando bajas concentraciones de agua (0.19 lt/m²) sobre el residuo asfáltico, la resistencia al corte disminuía apreciablemente. Independiente de la dosis aplicada, todas las probetas contaminadas presentaban porcentajes de adherencia inferiores a las probetas sin emulsión, no se alcanzaron valores mayores al 45%.

Sería interesante aplicar agua cuando la emulsión aún no ha quebrado y esta todavía “fresca”.

Claramente cualquier tipo de contaminación, sea agua o polvo, afecta la adherencia de las capas de asfalto. Sin embargo contrariamente a lo esperado, el agua afecta en mayor grado que el polvo.

El agua presente en la superficie con residuo reduce la resistencia en valores cercanos al 50%, y el polvo en valores de alrededor del 40%.

Como era esperable, reducir la temperatura de compactación de la segunda capa reduce la adherencia, independiente del tipo de emulsión.

Si se desea comparar los testigos obtenidos a partir de las probetas WTT con las probetas construidas según lo indicado en los Cap. 3.7.3 y 3.7.4, es necesario reducir el porcentaje de adherencia de las probetas en un 30% en relación a las probetas monolíticas. Dado que los testigos obtenidos usando la emulsión CRS-1 presentan valores de resistencia inferiores en aproximadamente ese porcentaje.

Aún cuando se tienen pocos antecedentes, resulta evidente que una carpeta inferior mas rugosa favorecería el proceso de trabazón con la carpeta superior y por lo tanto incrementaría la resistencia al corte.

En este estudio se eligió una banda granulométrica densa (IV-12) con el fin de obtener una superficie lo mas cerrada posible y sin un número significativo de huecos de gran tamaño en la superficie de la junta. Una superficie muy irregular, así como una mezcla muy abierta podría favorecer la trabazón con la carpeta superior, haciendo que el efecto del riego sea poco perceptible.

6.2. En relación a las propiedades de las emulsiones

En general todos los resultados de los ensayos mostrados en la tabla N° 5.7 son relativamente similares y no indican mayores indicios del posible comportamiento de las emulsiones ensayadas.

El único resultado comparable que resulta mas interesante es el ensayo de “Penetración a 25°C”. Dejando de lado las especificaciones mínimas y máximas, se aprecia que la emulsión CRS-1 alcanza un valor cercano al doble del resultado obtenido por las otras emulsiones. Esta propiedad permitiría decir que una emulsión con un residuo mas blando es mas sensible, en términos de resistencia al corte, al cambio de dosis aplicado. Lo que se refleja en la curvatura observada en los gráficos de las Figuras N° 5.2 y 5.6.

Una de las razones por que se desarrollan las emulsiones termo-adherentes es el hecho de que, una vez que esta quiebra, la superficie que contiene el residuo no es pegajosa. A diferencia de las emulsiones de quiebre rápido como la CRS-1. Este fenómeno se pudo comprobar al tocar las superficies con las distintas emulsiones. En términos de “pegajosidad” si ordenamos de mayor a menor las 4 emulsiones ensayadas, tenemos lo siguiente: CRS-1, CSS-1H, luego la emulsión Spramul ML y finalmente la emulsión Experimental M1.

6.3. Metodología para el control del residuo asfáltico

Dados los resultados, es recomendable tratar de obtener la dosis óptima de residuo para cada condición constructiva y diseño asfáltico empleado.

Se recomienda utilizar las metodologías explicadas en los Cap. 3.7.3 y 3.7.4 para confeccionar las probetas y obtener la dosis óptima. Algunas de las ventajas de este método por sobre las probetas WTT (Cap. 3.7.5) son las siguientes:

- Se confecciona una probeta a la vez, lo que permite manejar de mejor manera menores volúmenes de mezcla asfáltica. Además de que no existe pérdida de mezcla.
- Los equipos utilizados están disponibles en cualquier laboratorio de mezclas asfálticas.
- Se emplea una menor cantidad de horas hombre. Dada la disponibilidad de moldes, el método mediante probetas WTT hace prácticamente imposible obtener una cantidad de probetas representativas en un tiempo razonable (aprox. 4 meses para obtener 50 muestras).
- Comúnmente se utilizan este tipo de probetas para controlar las propiedades de las mezclas en caliente de cementos asfálticos.

También presenta ventajas en relación a la preparación de canchas de prueba y la extracción posterior de testigos.

- No es necesario contar con grandes maquinarias.
- Es posible variar la dosis aplicada de manera muy simple y controlada.
- Los volúmenes de asfalto y emulsiones son reducidos, lo que redundaría en un ahorro sustancial de recursos.

Una vez obtenida la dosis óptima de residuo, sería recomendable establecer los valores de referencia en función de probetas monolíticas y probetas doble capa sin emulsión. Calculando su respectivo porcentaje de adherencia se independizaría del valor de tensión obtenido en cada caso y haría que los distintos casos sean comparables.

Claramente probetas monolíticas con diferentes diseños y bandas granulométricas, presentarían diferentes resistencias al corte transversal.

Un parámetro razonable sería exigir un 75% de la resistencia monolítica. Se propone calcular el porcentaje exigible de la siguiente manera:

- Promediar el % de adherencia de las probetas sin emulsión con el 100% correspondiente a las monolíticas. Si tomamos como ejemplo los datos de la Tabla N° 5., obtenemos:

$$A.M = \frac{100 + 56.5}{2} = 78.3 \quad \text{Donde A.M: representa adherencia mínima}$$

6.4. Comentarios y Conclusiones Generales

Aún cuando las diferencias no son significativas, si se mantiene la dosis de residuo entre 0.10 lt/m^2 y 0.30 lt/m^2 , en base a los ensayos realizados y a la información recopilada, se concluye que:

- La dosis optima de residuo para la emulsión CSS-1H es de 0.16 lt/m^2 , es necesario aplicar 0.50 lt/m^2 de riego de liga. Independiente de la dosis aplicada todos los resultados se mantienen sobre las probetas sin emulsión, registrándose porcentajes de adherencia de 60 a 75%.
- La dosis optima de residuo para la emulsión CRS-1 es de 0.21 lt/m^2 , es necesario aplicar 0.65 lt/m^2 de riego de liga. Se observa que aplicando 0.29 lt/m^2 se obtienen resultados inferiores a las probetas sin emulsión, lo mismo ocurre con 0.07 lt/m^2 , con resultados iguales a el parámetro mínimo. Aún cuando se alcanzan porcentajes de adherencia de 85.7 % la resistencia es especialmente sensible a la dosis aplicada.
- La dosis optima de residuo para la emulsión Sparmul ML es de 0.11 lt/m^2 , es necesario aplicar 0.32 lt/m^2 de riego de liga. Si se aplican dosis iguales o mayores a 0.29 lt/m^2 se obtienen resultados inferiores a las probetas sin emulsión. Se alcanzan porcentajes de adherencia de 54.3 a 49.8 %.
- La dosis optima de residuo para la emulsión Experimental M1 es de 0.21 lt/m^2 , es necesario aplicar 0.81 lt/m^2 de riego de liga. No obstante, no se presentan mayores diferencias en los resultados si se aplican valores de 0.10 a 0.30 lt/m^2 de residuo.

Si tomamos en cuenta las ventajas constructivas de la emulsión Experimental M1, además del hecho de que los resultados obtenidos en terminos de resistencia al corte son los mejores, se recomienda utilizar este tipo de emulsión para los trabajos de riego de liga.

Contrariamente a lo recomendado por el fabricante, la emulsión Sparmul ML de diluyo a razón 1:1 con agua. Bajo estas condiciones, la adición de polimeros a una emulsión reduce su resistencia al corte a temperatura ambiente (20°C). Es posible que que ha temperaturas mas altas o mas bajas el polímero adopte características mas elasticas o mas fragiles. No se recomienda diluir este tipo de emulsiones para la utilización en riego de liga.

Construidos los accesorios necesarios y superados los problemas iniciales de filtración, se logró que la metodología y los procedimientos implementados funcionaran correctamente, por lo que las dosis teóricas calculadas son las que efectivamente están presentes entre las capas compactadas.

En una primera etapa de ajuste de la metodología se comprobó la correcta densidad de las dos capas de las probetas de acuerdo al diseño Marshall.

El ensayo de corte LCB es de fácil implementación y se necesitan pocos recursos. De todas maneras, la metodología original de aplicación del riego mediante un pincel se considera cuestionable, ya que es prácticamente imposible controlar la dosis aplicada y su correcta distribución. Podría ser posible controlarla mediante una diferencia de pesos, pero para poder obtener dosis similares habría que aplicar el riego en distintas etapas, lo que se alejaría de la

aplicación en terreno. Además, dado que la superficie de la probeta es tan pequeña, cualquier pérdida de masa de ésta afectaría el cálculo del residuo.

También se puede decir que resulta crítico colocar de manera correcta la probeta separada la distancia recomendada de los apoyos, en especial la junta de adherencia. Una distancia mayor a los 5 mm redundaría en una mayor resistencia de la junta, lo que entrega un resultado engañoso.

Inicialmente se concluyó que existía una gran dispersión entre las cargas máximas obtenidas en el ensayo LCB. No obstante, se observó que si el ensayo se realizaba de manera correcta, la dispersión era parte del ensayo.

Como objeción a la metodología constructiva se puede decir que:

- La bandeja metálica utilizada para aplicar de manera homogénea el riego de liga sobre la superficie de las probetas compactadas, no se comporta de igual manera que la mezcla asfáltica ensayada. La mezcla asfáltica, a pesar de ser densa, permite que pequeñas cantidades de la emulsión se filtren hacia el interior de la probeta, por el contrario, la bandeja no permite la filtración. Es posible que para dosis altas de riego de liga se produzcan concentraciones de solución sobre las probetas y que, a pesar de que el riego se distribuya de manera correcta, las dosis de residuo sean mayores que las teóricas.
- La metodología de aplicación del riego de liga depende de la destreza del operador y es necesario llevar un control del tiempo de aplicación en términos de decimas de segundo, lo que resulta especialmente difícil en un principio y requiere de mucha práctica afín de reducir las dispersiones.

Algunas variables que podrían requerir un estudio posterior son:

- Variación en el tipo de asfalto.
- Variación en el tipo de mezcla.
- Incorporar algún tipo de frezado.
- Comparar emulsiones con diferentes rangos de viscosidades.
- Usar emulsiones sin diluir.
- Aplicar la segunda capa de asfalto antes de que el riego quiebre.

Como único problema relevante para el correcto desarrollo de las actividades venideras corresponde mencionar que se depende en demasía de las actividades propias del laboratorio de asfalto. La programación dependía de “los tiempos libres” de los equipos, dado que no era posible realizar ambas actividades de manera simultánea.

Se logró implementar una metodología exitosa en términos constructivos y de resultados. En general se cumplió con los objetivos planteados en términos de analizar las variables más comunes.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

7.1. Bibliografía

- 1) ASTM D 8-02 Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements. *Annual Book of ASTM Standards 2003*, Section 4: Construction, Volume 04.03, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 2003.
- 2) Catalogo de Pavimentación, Asfalchile
- 3) COMPLEMENTO N°1 Manual de Carreteras, Volumen N°8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control, Ministerio de Obras Públicas, Chile. Septiembre 2005
- 4) CURSO Laboratorista vial. Ministerio de Obras Públicas. Laboratorio Nacional de Vialidad. 1995.
- 5) DELMAR R. Salomon. TRANSPORTATION RESEARCH CIRCULAR E-C102, Asphalt Emulsion Technology. Transportation Research Board, Characteristics of Bituminous Materials Committee, August 2006
- 6) Flexible Pavements of Ohio, Technical Bulletin: Proper Tack Coat Application. 21 May 2001.
- 7) GUZMÁN Lorca, Pablo. Validación del ensayo de rueda de carga como herramienta de diseño de mezclas asfálticas en caliente. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Universidad de Chile. 2006.
- 8) HACHIYA, Y., and K. Sato. "Effect of Tack Coat on Bonding Characteristics at Interface Between Asphalt Concrete Layers." *Proceedings, 8th International Conference on Asphalt Pavements, Volume 1*, University of Washington, Seattle, WA, 1997.
- 9) INN, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Emulsiones asfálticas – Métodos de ensayo. Santiago de Chile. Norma oficial chilena NCh 2348 Of98. 1998.
- 10) INTRODUCCIÓN al manual de diseño de pavimentos método Shell: pavimentos asfálticos y recapados. Shell.
- 11) Manual de Carreteras, Volumen N°5: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, Ministerio de Obras Públicas, Chile. Diciembre 2003
- 12) Manual de Carreteras, Volumen N°8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control, Ministerio de Obras Públicas, Chile. Diciembre 2003
- 13) Massachusetts Highway Department Standard Specifications for High way and Bridges 1995.

- 14) MILAGROS Fernández Cobo, José Antonio Soto Sánchez. COMUNICACIÓN LIBRE: RIEGOS DE ADHERENCIA. DIFERENTES MÉTODOS DE CONTROL: CEDEX, UPC, INTECASA)
- 15) MIRÓ Recasens, Rodrigo; Martínez, Adriana; Pérez Jiménez, Félix. Evaluation of effect of heat-adhesive emulsions for tack coats using LCB shear test. Submitted for Presentation and Publication at the 2006 Annual Meeting of the Transportation Research Board, Submission date: October 28, 2005.
- 16) Proper Use of Tack Coat. *Technical Advisory 2001-1*, Construction and Bridge Divisions, Texas Department of Transportation, Austin, TX, June 29, 2001.
- 17) RIOJA Héctor Vásquez, Curso Tecnología del asfalto para laboratoristas, Universidad de Chile, Idiem, octubre 2001.
- 18) RODRIGUEZ Rogelio Talavera, Castaño Víctor Manuel Meneses, Martínez Miguel Madrid. EMULSIONES ASFÁLTICAS, Documento Técnico No. 23. Secretaria de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano del Transporte, Sanfandila, Qro, 2001
- 19) ROMANOSCHI, S.A., and J.B. Metcalf. "Characterization of Asphalt Concrete Layer Interfaces." *Transportation Research Record No. 1778*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 2001.
- 20) SALGADO Aravena, Jorge. Investigación del quiebre y adherencia de las emulsiones aniónicas y catiónicas con los pétreos. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Universidad de Chile. 1969.
- 21) SHOLAR, G.A., G.C. Page, J.A. Musselman, P.B. Upshaw and H.L. Moseley. "Preliminary Investigation of a Test Method to Evaluate Bond Strength of Bituminous Tack Coats." Paper prepared for 72nd Annual Meeting of The Association of Asphalt Paving Technologists, March 2004, Baton Rouge, LA.
- 22) WEST Randy C., Jingna Zhang, Jason Moore. EVALUATION OF BOND STRENGTH BETWEEN PAVEMENT LAYERS, NCAT Report 05-08. December 2005.

7.2. Material en línea

- 23) <http://www.ichasfalto.cl/opinion.php?id=2>
(Roberto Orellana L. Gerente Instituto Chileno del Asfalto)
- 24) <http://www.asfalchilemobil.cl/catalogos/pavimentacion>
- 25) <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec102.pdf>
- 26) <http://www.imt.mx/Espanol/Publicaciones/doctec/dt23.pdf>
- 27) <http://www.eng.auburn.edu/center/ncat/reports/rep05-08.pdf>
- 28) <http://www.asefma.com.es/doc/20050608/CLE%201-20Riegos%20de%20adherencia.pdf>
- 29) <http://www.clasa.cl/productos.swf>
- 30) http://www.surface.akzonobel.com/asphalt_russian/chemicals/be/be.htm

7.3. Comunicaciones Personales

- 31) ALIAGA Maximiliano. Jefe Laboratorio de mezclas Asfálticas. IDIEM. Comunicación Personal. 2007.
- 32) DELFÍN Federico. Académico Universidad de Chile. Comunicación Personal. 2007.
- 33) DIAZ Cristián. Ingeniero Civil Universidad de Chile, Jefe Sección Pavimentación IDIEM. Comunicación Personal. 2007.
- 34) GONZÁLEZ Gustavo. Gerente Técnico Shell Bitumen - Chile/Bolivia. Comunicación Personal. 2007.
- 35) VERDUGO Juan Carlos. Laboratorio de Ligantes Sección Polímeros. Comunicación Personal. 2007.

ANEXO A
CERTIFICADOS DE CALIDAD

CERTIFICADO CONTROL DE CALIDAD:

N°

5756

CLIENTE: IDIEM
 PLAZA ERGILLA N° 883 STGO
 RUT: 80.919.008-1
 FAENA: STGO.

PRODUCTO
 CANTIDAD
 N° PARTIDA
 FECHA

SPRAMUL ML
 4 galones
 28152
 27-03-2007

ENSAYES

Viscosidad Saybolt Furl a 25°C, (s)
 Carga de partícula
 Sedimentación 7 días, (%)
 Residuo por Evaporación, (%)
 Ensayo de Tamizado, (%)

RESULTADOS

37
 Positiva
 En Análisis
 80,5
 0,66

ESPECIFICACION

Min. 20 - Máx. 50
 Positiva / Negativa
 Máx. 5
 Min. 62
 Máx. 0-10

NORMA

NCh 2334-88
 NCh 2348-88
 NCh 2348-88
 MC 5.405.201.A
 NCh 2348-88

ENSAYES EN EL RESIDUO

Penetración a 25° C, 100g, 5s, (0.1 mm.)
 Punto de Ablandamiento, (°C)
 Ductilidad 25°C, 5cm/min, (cm)
 Índice de Frase, (°C)
 Índice de Penetración, (IP)
 Recuperación Elástica a 13 °C, 20 cm, 1hr, (%)
 Recuperación Elástica por Tensión a 25°C, (%)
 Viscosidad Brookfield 60 °C 8,29 rpm, 1,0 Torque, 91,2 (cP)

99
 69
 82
 (En Análisis)
 1,3
 56
 30
 914000

Min. 50 - Máx. 80
 Min. 53
 Min. 40
 Máx. (-17)
 Min. 1,0
 Min. 50
 Min. 20
 Informar

NCh 2340-88
 NCh 2337-88
 NCh 2342-88
 NCh 2344-88
 P.Abl./Pen
 MC 8.302.19
 NLT 329-91
 ASTM D4402-02



N° GUIA

PLANTA TALCAHUANO

Versión 03

CERTIFICADO CONTROL DE CALIDAD:**N° 16.977**

CLIENTE: PILEN
 PARCELA 14, CAMPO VERDE, ARICA
 RUT: 94.944.000-1
 FAENA: AEROPUERTO ARICA

PRODUCTO SPRAMUL CSS- 1H
 N° PARTIDA 29.433
 CANTIDAD ± 25 TONS
 FECHA 09-09-2006

<u>ENSAYES</u>	<u>RESULTADOS</u>	<u>ESPECIFICACIÓN</u>	<u>NORMA</u>
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C. (s)	36	Min. 20 - Máx. 100	NCh 2334-98
Estabilidad al almacenamiento, 1 día, (%)	0.02	Máx. 1	NCh 2348-98
Carga de partícula	Positiva	Positiva	NCh 2348-98
Mezcla con cemento, (%)	0.02	Máx. 2.0	NCh 2348-98
Ensayo de Tamizado, (%)	0.02	Máx. 0.10	NCh 2348-98

DESTILACION

Residuo (%)	63.8	Min. 57	NCh 2348-98
-------------	------	---------	-------------

ANALISIS AL RESIDUO

Penetracion a 25° C, 100g, 5s, (0.1 mm.)	50	Min. 40 - Máx. 90	NCh 2340-99
Ductilidad de residuo a 25°c, 5cm/min, (cm)	> 150	Min. 40	NCh 2342-99
Solubilidad en tricloroetileno, (%)	99	Min. 97.5	NCh 2341-99
Ensayo de la mancha Hep./Xilol, (% xilol)	< 25	Máx. 25	NCh 2343-99



N° GUIA 109.877

PLANTA CONCON

Versión 03





Shell Bitumen

Cliente: SHELL BITUMEN
 Dirección: Av. DEL PARQUE 5250, HUECHURABA, SANTIAGO
 RUT: 96.526.360-0
 Faena: Santiago

Shell Bitumen
 Av. Del Parque 5250, Ciudad Empresarial
 Santiago - Chile
 Tel + 56(0) 2 444 4000
 Fax + 56(0) 2 444 9186
 Internet <http://www.shell.com/bitumen>

N° Certificado Control de Calidad:	18088	Fecha:	15-Mar-2007
Producto:	SPRAMUL CRS-1	Cantidad:	2 Galones
N° Partida:	11006	N° Guia:	—
Planta:	2	Formato:	V04 Mar07

Ensayos	Resultados	Especificación	Norma
Viscosidad Saybolt Furoil a 50°C, (s)	79	Min.20 - Máx.100	NCh 2334-98
Estabilidad al almacenamiento, 1 día, (%)	0,4	Máx. 1	NCh 2348-98
Carga de partícula	Positiva	Positiva	NCh 2348-98
Demulsibilidad (dióxido sulfato de Na), (%)	64,6	Mín. 40	NCh 2348-98
Ensayo de Tamizado, (%)	0	Máx. 0.10	NCh 2348-98
Destilación			
Aceite, (%)	0,5	Máx. 3,0	NCh 2348-98
Residuo, (%)	65	Mín. 60	NCh 2348-98
Análisis al Residuo			
Penetración a 25° C, 100g, 5s, (0.1 mm.)	116	Min.100 - Máx.250	NCh 2340-99
Ductilidad de residuo a 25°C, 5cm/min, (cm)	>150	Mín. 40	NCh 2342-99
Solubilidad en tricloroetileno, (%)	99,5	Mín. 97,5	NCh 2341-99
Ensayo de la mancha Hep.Xirol, (% kilo)	<25	Máx. 25	NCh 2343-99

Shell Bitumen Chile



INFORME DE ENSAYE Nº 417617/0

S.M.P Nº 069-0 / 2007		FECHA: 28 / 02 / 2007	PAGINA 1 DE 1
REFERENTE A	:	Ensayos físico – químicos .	
EMITIDO POR	:	Sección Polímeros.	
SOLICITANTE	:	SHELL BITUMEN	
DIRECCIÓN	:	Avda. Del Parque 5250 - Ciudad Empresarial - Huechuraba	
PRODUCTO	:	Bitumen CA 24, Partida Nº 75003-191, Planta Ventanas.	
EVALUACIONES	:	Penetración, según norma NCh 2340. Of 1999 Ensayo de la mancha, según norma NCh 2343. Of 1999 Punto de inflamación, según norma NCh 2338.Of 1998 Punto de ablandamiento, según norma NCh 2337. Of 1998 Viscosidad a 60 °C, según norma NCh 2336. Of 1998 Horno película delgada rotatoria, según norma NCh 2345. Of 1998 Viscosidad a 60 °C, según norma NCh 2336. Of 1998 Índice de durabilidad. Curva de Viscosidad Viscosidad Brookfield 120 °C, según norma ASTM D- 4402-02. Viscosidad Brookfield 135 °C, según norma ASTM D- 4402-02. Viscosidad Brookfield 150 °C, según norma ASTM D-4402-02.	
RESULTADOS			
Ensayos		M-1	Requisito
Viscosidad Absoluta	P	3167	Mín. 2400
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	150	Mín. 100
Ensayo de la mancha, 30% Xilol	% xilol	Negativo	Máx. 30
Punto de inflamación	°C	311	Mín. 232
Punto de ablandamiento	°C	49.2	Informar
Índice de penetración	IP	-1.0	Mín. -1,5 - Máx.+1,0
Solubilidad en Tricloroetileno	%	99.9	Mín. 99
<i>Horno rotatorio</i>			
Pérdida por Calentamiento	%	0.1	Máx. 0.8
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	150	Mín. 100
Viscosidad a 60°C	P	8899	Informar
Índice de durabilidad	---	2.8	Máx. 3.5
<i>Curva de Viscosidad</i>			
Viscosidad Brookfield 120°C, S:21, 30 rpm, % torque:73	cP	1218	Informar
Viscosidad Brookfield 135°C, S:21, 90 rpm, % torque: 95	cP	527	Informar
Viscosidad Brookfield 150°C, S:21, 100 rpm, % torque: 52.6	cP	263	Informar
Juan Carlos Verdugo Laboratorio Ligantes Sección Polímeros		Patricio Jorquera Encina Jefe Area Materiales	

ANEXO B
RESULTADOS DE ENSAYOS DE CORTE LCB

Resultados ensayos de corte Probetas Monolíticas y Sin emulsión.

N° Probeta	Características
MO - 1	Probeta Monolitica N° 1, una capa
MO - 2	Probeta Monolitica N° 2, una capa
MO - 3	Probeta Monolitica N° 3, una capa
MO - 4	Probeta Monolitica N° 4, una capa
MO - 5	Probeta Monolitica N° 5, una capa
SE - 1	Probeta doble capa sin emulsión, N° 1
SE - 2	Probeta doble capa sin emulsión, N° 2
SE - 3	Probeta doble capa sin emulsión, N° 3
SE - 4	Probeta doble capa sin emulsión, N° 4
SE - 5	Probeta doble capa sin emulsión, N° 5

Fecha : 25-Ene

Tiempo	MO - 1	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	150
20 "	0.005	270
30 "	0.009	400
40 "	0.013	500
50 "	0.017	650
1' 0 "	0.021	670
1' 10 "	0.026	850
1' 20 "	0.03	900
1' 30 "	0.034	1020
1' 40 "	0.039	1080
1' 50 "	0.045	1080
2' 0 "		

Fecha : 25-Ene

Tiempo	MO - 2	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	130
20 "	0.002	210
30 "	0.005	400
40 "	0.008	570
50 "	0.011	700
1' 0 "	0.014	800
1' 10 "	0.018	900
1' 20 "	0.023	950
1' 30 "	0.028	1010
1' 40 "	0.035	1050
1' 50 "	0.042	1050
2' 0 "		

Fecha : 25-Ene

Tiempo	MO - 3	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.0005	90
20 "	0.001	160
30 "	0.002	250
40 "	0.003	300
50 "	0.004	400
1' 0 "	0.006	430
1' 10 "	0.007	550
1' 20 "	0.009	650
1' 30 "	0.011	760
1' 40 "	0.014	830
1' 50 "	0.017	900
2' 0 "	0.02	950
2' 10 "	0.028	1050
2' 20 "	0.032	1080
2' 30 "		

Fecha : 25-Ene

Tiempo	MO - 4	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	260
20 "	0.005	450
30 "	0.009	590
40 "	0.013	770
50 "	0.016	850
1' 0 "	0.021	980
1' 10 "	0.027	1060
1' 20 "	0.034	1060
1' 30 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	MO - 5	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	360
20 "	0.007	550
30 "	0.01	740
40 "	0.013	800
50 "	0.016	890
1' 0 "	0.02	940
1' 10 "	0.024	1040
1' 20 "	0.029	1080
1' 30 "	0.037	1120
1' 40 "	0.048	1120
1' 50 "		

Fecha : 25-Ene

Tiempo	SE - 1	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	100
20 "	0.004	180
30 "	0.006	240
40 "	0.009	310
50 "	0.011	370
1' 0 "	0.013	420
1' 10 "	0.017	470
1' 20 "	0.021	550
1' 30 "	0.026	610
1' 40 "	0.031	630
1' 50 "	0.038	630
2' 0 "	0.047	630
2' 10 "		

Fecha : 25-Ene

Tiempo	SE - 2	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	140
20 "	0.003	220
30 "	0.006	270
40 "	0.008	360
50 "	0.011	410
1' 0 "	0.014	520
1' 10 "	0.019	580
1' 20 "	0.024	640
1' 30 "	0.032	640
1' 40 "		

Fecha : 25-Ene

Tiempo	SE - 3	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	150
20 "	0.005	220
30 "	0.007	270
40 "	0.011	300
50 "	0.015	300
1' 0 "	0.022	300
1' 10 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	SE - 4	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	150
20 "	0.006	200
30 "	0.01	290
40 "	0.013	330
50 "	0.016	380
1' 0 "	0.019	420
1' 10 "	0.023	460
1' 20 "	0.027	500
1' 30 "	0.031	520
1' 40 "	0.037	560
1' 50 "	0.046	560
2' 0 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	SE - 5	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.005	130
20 "	0.009	190
30 "	0.014	210
40 "	0.018	240
50 "	0.021	280
1' 0 "	0.026	370
1' 10 "	0.031	440
1' 20 "	0.037	520
1' 30 "	0.044	540
1' 40 "		

Resultados ensayos de corte emulsión CSS-1H

N° Probeta	Características
C1H - 1 - D007	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 1
C1H - 2 - D007	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 2
C1H - 3 - D007	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 3
C1H - 1 - D015	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 1
C1H - 2 - D015	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 2
C1H - 3 - D015	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 3
C1H - 4 - D015	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 4
C1H - 1 - D022	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1
C1H - 2 - D022	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2
C1H - 3 - D022	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3
C1H - 1 - D029	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 1
C1H - 2 - D029	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 2
C1H - 3 - D029	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 3
C1H - 1 - D037	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,37 [lt/m ²], N° 1
C1H - 2 - D037	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,37 [lt/m ²], N° 2
C1H - 3 - D037	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,37 [lt/m ²], N° 3
C1H - 1 - D044	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,44 [lt/m ²], N° 1
C1H - 2 - D044	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,44 [lt/m ²], N° 2
C1H - 3 - D044	Probeta doble capa con emulsión CSS-1H, dosis aplicada 0,44 [lt/m ²], N° 3

Fecha : 13-Feb

Tiempo	C1H - 1 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	100
20 "	0.004	160
30 "	0.006	220
40 "	0.008	300
50 "	0.01	390
1' 0 "	0.013	500
1' 10 "	0.016	570
1' 20 "	0.02	620
1' 30 "	0.025	640
1' 40 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	C1H - 2 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	120
20 "	0.004	250
30 "	0.007	400
40 "	0.01	450
50 "	0.014	520
1' 0 "	0.017	570
1' 10 "	0.022	640
1' 20 "	0.032	670
1' 30 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	C1H - 3 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	180
20 "	0.007	250
30 "	0.011	310
40 "	0.014	420
50 "	0.016	500
1' 0 "	0.02	610
1' 10 "	0.025	680
1' 20 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 1 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	370
20 "	0.003	500
30 "	0.004	550
40 "	0.007	650
50 "	0.012	650
1' 0 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 2 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	240
20 "	0.01	350
30 "	0.014	450
40 "	0.02	550
50 "	0.023	660
1' 0 "	0.028	760
1' 10 "	0.038	800
1' 20 "	0.044	800
1' 30 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 3 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	110
20 "	0.004	180
30 "	0.006	240
40 "	0.009	310
50 "	0.012	390
1' 0 "	0.015	470
1' 10 "	0.018	550
1' 20 "	0.021	640
1' 30 "	0.025	720
1' 40 "	0.029	780
1' 50 "	0.034	870
2' 0 "	0.055	870
2' 10 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 4 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	130
20 "	0.005	180
30 "	0.007	260
40 "	0.009	330
50 "	0.012	410
1' 0 "	0.014	470
1' 10 "	0.017	530
1' 20 "	0.021	610
1' 30 "	0.026	700
1' 40 "	0.037	700
1' 50 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 1 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	170
20 "	0.004	310
30 "	0.006	400
40 "	0.009	500
50 "	0.011	600
1' 0 "	0.014	670
1' 10 "	0.018	730
1' 20 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 2 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	170
20 "	0.007	320
30 "	0.013	420
40 "	0.018	500
50 "	0.022	590
1' 0 "	0.027	690
1' 10 "	0.032	750
1' 20 "	0.042	850
1' 30 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 3 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	250
20 "	0.004	370
30 "	0.007	460
40 "	0.01	540
50 "	0.013	570
1' 0 "	0.016	600
1' 10 "	0.021	600
1' 20 "	0.032	600
1' 30 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 1 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	180
20 "	0.007	220
30 "	0.01	380
40 "	0.012	520
50 "	0.017	590
1' 0 "	0.022	640
1' 10 "	0.025	660
1' 20 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 2 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.006	210
20 "	0.012	350
30 "	0.018	450
40 "	0.022	550
50 "	0.025	650
1' 0 "	0.03	730
1' 10 "	0.035	760
1' 20 "	0.051	760
1' 30 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 3 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	210
20 "	0.01	320
30 "	0.017	390
40 "	0.024	520
50 "	0.031	580
1' 0 "	0.039	660
1' 10 "	0.048	720
1' 20 "	0.06	720
1' 30 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 1 - D037	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	250
20 "	0.008	380
30 "	0.012	450
40 "	0.016	560
50 "	0.02	620
1' 0 "	0.028	620
1' 10 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 2 - D037	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	140
20 "	0.008	240
30 "	0.013	320
40 "	0.017	400
50 "	0.02	480
1' 0 "	0.025	600
1' 10 "	0.031	620
1' 20 "	0.044	620
1' 30 "		

Fecha : 12-Feb

Tiempo	C1H - 3 - D037	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	200
20 "	0.006	300
30 "	0.01	460
40 "	0.013	590
50 "	0.017	650
1' 0 "	0.023	670
1' 10 "	0.026	670
1' 20 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	C1H - 1 - D044	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	170
20 "	0.005	260
30 "	0.008	360
40 "	0.011	420
50 "	0.015	490
1' 0 "	0.018	500
1' 10 "	0.023	500
1' 20 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	C1H - 2 - D044	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	140
20 "	0.004	210
30 "	0.007	280
40 "	0.011	350
50 "	0.014	450
1' 0 "	0.017	520
1' 10 "	0.021	590
1' 20 "	0.025	640
1' 30 "	0.028	650
1' 40 "	0.032	720
1' 50 "	0.039	720
2' 0 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	C1H - 3 - D044	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0	100
20 "	0.001	150
30 "	0.003	230
40 "	0.007	330
50 "	0.01	430
1' 0 "	0.014	500
1' 10 "	0.018	560
1' 20 "	0.022	630
1' 30 "	0.027	710
1' 40 "	0.035	710
1' 50 "		

Resultados ensayos de corte emulsión CRS-1

N° Probeta	Características
CRS - 1 - D007	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 1
CRS - 2 - D007	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 2
CRS - 3 - D007	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 3
CRS - 1 - D015	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 1
CRS - 2 - D015	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 2
CRS - 3 - D015	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 3
CRS - 1 - D022	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1
CRS - 2 - D022	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2
CRS - 3 - D022	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3
CRS - 1 - D029	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 1
CRS - 2 - D029	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 2
CRS - 3 - D029	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 3

Fecha : 26-Abr

Tiempo	CRS - 1 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	180
20 "	0.007	340
30 "	0.01	450
40 "	0.014	560
50 "	0.018	610
1' 0 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	CRS - 2 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	240
20 "	0.004	330
30 "	0.006	470
40 "	0.01	550
50 "	0.018	580
1' 0 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	CRS - 3 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	170
20 "	0.007	320
30 "	0.011	610
40 "	0.015	610
50 "		
1' 0 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	CRS - 1 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	230
20 "	0.006	250
30 "	0.009	360
40 "	0.011	560
50 "	0.016	760
1' 0 "	0.026	780
1' 10 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	CRS - 2 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	170
20 "	0.008	250
30 "	0.012	370
40 "	0.016	430
50 "	0.02	570
1' 0 "	0.024	720
1' 10 "	0.031	820
1' 20 "	0.043	850
1' 30 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	CRS - 3 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	170
20 "	0.006	300
30 "	0.011	500
40 "	0.017	550
50 "	0.022	660
1' 0 "	0.027	750
1' 10 "	0.037	750
1' 20 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	CRS - 1 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	210
20 "	0.005	340
30 "	0.009	410
40 "	0.012	520
50 "	0.016	580
1' 0 "	0.02	630
1' 10 "	0.024	660
1' 20 "	0.029	800
1' 30 "	0.036	860
1' 40 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	CRS - 2 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	160
20 "	0.004	300
30 "	0.008	380
40 "	0.012	470
50 "	0.015	540
1' 0 "	0.018	650
1' 10 "	0.021	730
1' 20 "	0.025	780
1' 30 "	0.028	880
1' 40 "	0.031	930
1' 50 "	0.036	930
2' 0 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	CRS - 3 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	130
20 "	0.003	200
30 "	0.006	320
40 "	0.009	380
50 "	0.011	500
1' 0 "	0.015	560
1' 10 "	0.018	640
1' 20 "	0.02	720
1' 30 "	0.023	760
1' 40 "	0.025	890
1' 50 "	0.028	930
2' 0 "	0.031	930
2' 10 "	0.036	930
2' 20 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	CRS - 1 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	90
20 "	0.002	160
30 "	0.004	230
40 "	0.006	300
50 "	0.009	370
1' 0 "	0.012	440
1' 10 "	0.015	450
1' 20 "	0.022	480
1' 30 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	CRS - 2 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	220
20 "	0.004	330
30 "	0.007	380
40 "	0.01	430
50 "	0.014	500
1' 0 "	0.02	520
1' 10 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	CRS - 3 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	230
20 "	0.004	300
30 "	0.006	370
40 "	0.009	440
50 "	0.011	510
1' 0 "	0.013	570
1' 10 "	0.016	620
1' 20 "	0.019	620
1' 30 "		

Resultados ensayos de corte emulsión Spramul ML

N° Probeta	Características
SPR - 1 -D007	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 1
SPR - 2 -D007	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 2
SPR - 3 -D007	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 3
SPR - 1 -D015	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 1
SPR - 2 -D015	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 2
SPR - 3 -D015	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 3
SPR - 1 -D022	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1
SPR - 2 -D022	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2
SPR - 3 -D022	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3
SPR - 1 -D029	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 1
SPR - 2 -D029	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 2
SPR - 3 -D029	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 3
SPR - 1 -D037	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,37 [lt/m ²], N° 1
SPR - 2 -D037	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,37 [lt/m ²], N° 2
SPR - 3 -D037	Probeta doble capa con emulsión Spramul ML, dosis aplicada 0,37 [lt/m ²], N° 3

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 1 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	170
20 "	0.004	300
30 "	0.006	400
40 "	0.009	500
50 "	0.012	550
1' 0 "	0.015	620
1' 10 "	0.018	620
1' 20 "	0.022	620
1' 30 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 2 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	250
20 "	0.004	370
30 "	0.006	450
40 "	0.009	560
50 "	0.011	600
1' 0 "	0.014	670
1' 10 "	0.017	760
1' 20 "	0.019	760
1' 30 "	0.024	810
1' 40 "	0.031	
1' 50 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 3 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	200
20 "	0.004	300
30 "	0.008	380
40 "	0.011	460
50 "	0.014	460
1' 0 "	0.017	550
1' 10 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 1 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	240
20 "	0.004	310
30 "	0.007	450
40 "	0.011	510
50 "	0.014	580
1' 0 "	0.018	650
1' 10 "	0.022	650
1' 20 "	0.029	
1' 30 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 2 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	220
20 "	0.005	410
30 "	0.008	480
40 "	0.011	510
50 "	0.015	620
1' 0 "	0.02	590
1' 10 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 3 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	220
20 "	0.003	350
30 "	0.004	460
40 "	0.007	520
50 "	0.009	620
1' 0 "	0.011	720
1' 10 "	0.014	720
1' 20 "	0.019	760
1' 30 "	0.028	
1' 40 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 1 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	220
20 "	0.007	350
30 "	0.012	450
40 "	0.017	530
50 "	0.023	530
1' 0 "	0.028	630
1' 10 "	0.039	
1' 20 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 2 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	240
20 "	0.007	350
30 "	0.009	420
40 "	0.013	490
50 "	0.016	500
1' 0 "	0.019	530
1' 10 "	0.023	560
1' 20 "	0.033	
1' 30 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 3 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.007	280
20 "	0.012	350
30 "	0.017	490
40 "	0.023	490
50 "	0.028	560
1' 0 "	0.035	620
1' 10 "	0.046	620
1' 20 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 1 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	220
20 "	0.005	290
30 "	0.008	360
40 "	0.01	410
50 "	0.013	440
1' 0 "	0.018	490
1' 10 "	0.029	540
1' 20 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 2 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	240
20 "	0.003	330
30 "	0.007	480
40 "	0.01	560
50 "	0.015	600
1' 0 "	0.022	630
1' 10 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 3 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	220
20 "	0.006	320
30 "	0.01	390
40 "	0.017	510
50 "	0.027	570
1' 0 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 1 - D037	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	180
20 "	0.004	270
30 "	0.006	350
40 "	0.01	470
50 "	0.015	490
1' 0 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 2 - D037	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	230
20 "	0.005	380
30 "	0.009	530
40 "	0.016	550
50 "		

Fecha : 27-Abr

Tiempo	SPR - 3 - D037	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	240
20 "	0.003	320
30 "	0.006	480
40 "	0.009	480
50 "	0.012	520
1' 0 "	0.018	520
1' 10 "	0.026	
1' 20 "		

Resultados ensayos de corte emulsión Experimental M1

Nº Probeta	Características
M1 - 1 -D007	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 1
M1 - 2 -D007	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 2
M1 - 3 -D007	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 3
M1 - 1 -D015	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 1
M1 - 2 -D015	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 2
M1 - 3 -D015	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 3
M1 - 1 -D022	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1
M1 - 2 -D022	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2
M1 - 3 -D022	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3
M1 - 1 -D029	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 1
M1 - 2 -D029	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 2
M1 - 3 -D029	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 3
M1 - 1 -D037	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,37 [lt/m ²], N° 1
M1 - 2 -D037	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,37 [lt/m ²], N° 2
M1 - 3 -D037	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,37 [lt/m ²], N° 3
M1 - 1 -D044	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,44 [lt/m ²], N° 1
M1 - 2 -D044	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,44 [lt/m ²], N° 2
M1 - 3 -D044	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,44 [lt/m ²], N° 3

Fecha : 26-Abr

Tiempo	M1 - 1 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	100
20 "	0.003	160
30 "	0.005	230
40 "	0.008	300
50 "	0.01	370
1' 0 "	0.014	430
1' 10 "	0.018	500
1' 20 "	0.021	630
1' 30 "	0.025	710
1' 40 "	0.029	750
1' 50 "	0.034	800
2' 0 "	0.038	820
2' 10 "	0.043	830
2' 20 "	0.048	850
2' 30 "	0.054	850
2' 40 "	0.061	
2' 50 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	M1 - 2 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	130
20 "	0.004	230
30 "	0.007	360
40 "	0.009	430
50 "	0.012	510
1' 0 "	0.014	610
1' 10 "	0.017	710
1' 20 "	0.02	780
1' 30 "	0.022	850
1' 40 "	0.026	900
1' 50 "	0.032	910
2' 0 "	0.04	
2' 10 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	M1 - 3 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	120
20 "	0.003	210
30 "	0.008	310
40 "	0.014	380
50 "	0.019	460
1' 0 "	0.025	530
1' 10 "	0.03	560
1' 20 "	0.034	610
1' 30 "	0.038	680
1' 40 "	0.041	700
1' 50 "	0.045	760
2' 0 "	0.049	820
2' 10 "	0.054	830
2' 20 "	0.059	890
2' 30 "	0.064	890
2' 40 "	0.071	
2' 50 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	M1 - 1 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	140
20 "	0.008	210
30 "	0.012	300
40 "	0.015	380
50 "	0.02	420
1' 0 "	0.024	490
1' 10 "	0.028	550
1' 20 "	0.031	650
1' 30 "	0.035	750
1' 40 "	0.04	820
1' 50 "	0.044	900
2' 0 "	0.05	1050
2' 10 "	0.055	1150
2' 20 "	0.066	1150
2' 30 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	M1 - 2 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	140
20 "	0.007	230
30 "	0.012	290
40 "	0.016	370
50 "	0.021	440
1' 0 "	0.025	510
1' 10 "	0.028	610
1' 20 "	0.033	720
1' 30 "	0.038	800
1' 40 "	0.042	830
1' 50 "	0.047	890
2' 0 "	0.052	950
2' 10 "	0.057	960
2' 20 "	0.063	960
2' 30 "	0.075	960
2' 40 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	M1 - 3 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	150
20 "	0.004	240
30 "	0.008	410
40 "	0.012	440
50 "	0.017	550
1' 0 "	0.021	680
1' 10 "	0.025	770
1' 20 "	0.03	810
1' 30 "	0.034	860
1' 40 "	0.04	860
1' 50 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	M1 - 1 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	160
20 "	0.007	290
30 "	0.011	390
40 "	0.015	460
50 "	0.019	550
1' 0 "	0.024	600
1' 10 "	0.026	720
1' 20 "	0.031	790
1' 30 "	0.037	840
1' 40 "	0.045	900
1' 50 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	M1 - 2 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	120
20 "	0.006	260
30 "	0.01	350
40 "	0.015	400
50 "	0.018	500
1' 0 "	0.023	590
1' 10 "	0.027	670
1' 20 "	0.031	760
1' 30 "	0.036	800
1' 40 "	0.042	900
1' 50 "	0.058	900
2' 0 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	M1 - 3 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.005	170
20 "	0.01	310
30 "	0.017	370
40 "	0.023	450
50 "	0.027	530
1' 0 "	0.032	580
1' 10 "	0.037	650
1' 20 "	0.044	720
1' 30 "	0.052	780
1' 40 "	0.065	780
1' 50 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	M1 - 1 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.006	300
20 "	0.008	400
30 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	M1 - 2 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	150
20 "	0.005	280
30 "	0.008	340
40 "	0.01	450
50 "	0.014	530
1' 0 "	0.016	600
1' 10 "	0.02	660
1' 20 "	0.024	730
1' 30 "	0.025	800
1' 40 "	0.032	800
1' 50 "	0.041	800
2' 0 "		

Fecha : 13-Feb

Tiempo	M1 - 3 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	180
20 "	0.007	250
30 "	0.012	390
40 "	0.017	460
50 "	0.022	550
1' 0 "	0.027	620
1' 10 "	0.032	750
1' 20 "	0.038	890
1' 30 "	0.043	960
1' 40 "	0.05	1020
1' 50 "	0.063	1020
2' 0 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	M1 - 1 - D037	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	120
20 "	0.004	220
30 "	0.007	310
40 "	0.011	380
50 "	0.015	450
1' 0 "	0.019	590
1' 10 "	0.022	650
1' 20 "	0.025	720
1' 30 "	0.029	800
1' 40 "	0.034	860
1' 50 "	0.039	920
2' 0 "	0.047	920
2' 10 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	M1 - 2 - D037	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	210
20 "	0.005	330
30 "	0.01	410
40 "	0.014	580
50 "	0.019	650
1' 0 "	0.024	720
1' 10 "	0.029	790
1' 20 "	0.034	860
1' 30 "	0.039	860
1' 40 "	0.047	
1' 50 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	M1 - 3 - D037	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	200
20 "	0.002	300
30 "	0.005	370
40 "	0.009	460
50 "	0.013	560
1' 0 "	0.017	640
1' 10 "	0.022	720
1' 20 "	0.027	830
1' 30 "	0.035	830
1' 40 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	M1 - 1 - D044	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	200
20 "	0.006	310
30 "	0.01	360
40 "	0.014	470
50 "	0.019	520
1' 0 "	0.024	600
1' 10 "	0.031	670
1' 20 "	0.039	670
1' 30 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	M1 - 2 - D044	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	220
20 "	0.005	340
30 "	0.008	430
40 "	0.012	530
50 "	0.017	630
1' 0 "	0.022	710
1' 10 "	0.027	710
1' 20 "	0.037	
1' 30 "		

Fecha : 26-Abr

Tiempo	M1 - 3 - D044	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	230
20 "	0.005	270
30 "	0.009	380
40 "	0.013	470
50 "	0.017	530
1' 0 "	0.022	600
1' 10 "	0.031	650
1' 20 "		

Resultados ensayos de corte emulsión CRS-1, contaminada con agua y con polvo de roca.

Nº Probeta	Características
A - 1 - D015	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 1, Superficie con emulsión contaminada con agua
A - 2 - D015	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 2, Superficie con emulsión contaminada con agua
A - 3 - D015	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 3, Superficie con emulsión contaminada con agua
A - 1 - D022	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1, Superficie con emulsión contaminada con agua
A - 2 - D022	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2, Superficie con emulsión contaminada con agua
A - 3 - D022	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3, Superficie con emulsión contaminada con agua
A - 1 - D029	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 1, Superficie con emulsión contaminada con agua
A - 2 - D029	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 2, Superficie con emulsión contaminada con agua
A - 3 - D029	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 3, Superficie con emulsión contaminada con agua
P - 1 - D015	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 1, Superficie con emulsión contaminada con polvo de roca
P - 2 - D015	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 2, Superficie con emulsión contaminada con polvo de roca
P - 3 - D015	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 3, Superficie con emulsión contaminada con polvo de roca
P - 1 - D022	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1, Superficie con emulsión contaminada con polvo de roca
P - 2 - D022	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2, Superficie con emulsión contaminada con polvo de roca
P - 3 - D022	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3, Superficie con emulsión contaminada con polvo de roca
P - 1 - D029	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 1, Superficie con emulsión contaminada con polvo de roca
P - 2 - D029	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 2, Superficie con emulsión contaminada con polvo de roca
P - 3 - D029	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 3, Superficie con emulsión contaminada con polvo de roca

Fecha : 03-Jul

Tiempo	A - 1 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	180
20 "	0.004	250
30 "	0.008	260
40 "		260
50 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	A - 2 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	120
20 "	0.005	210
30 "	0.008	260
40 "	0.01	310
50 "	0.014	310
1' 0 "	0.019	310
1' 10 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	A - 3 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	140
20 "	0.007	180
30 "	0.011	210
40 "	0.016	220
50 "	0.022	220
1' 0 "	0.03	
1' 10 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	A - 1 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	180
20 "	0.004	230
30 "	0.006	270
40 "	0.01	310
50 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	A - 2 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	140
20 "	0.005	220
30 "	0.008	250
40 "	0.011	260
50 "	0.016	200
1' 0 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	A - 3 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	100
20 "	0.004	150
30 "	0.007	210
40 "	0.01	240
50 "	0.014	290
1' 0 "	0.02	290
1' 10 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	A - 1 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	160
20 "	0.005	240
30 "	0.009	300
40 "	0.013	370
50 "	0.018	440
1' 0 "	0.022	470
1' 10 "	0.028	470
1' 20 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	A - 2 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	150
20 "	0.006	190
30 "	0.01	260
40 "	0.015	350
50 "	0.019	400
1' 0 "	0.024	430
1' 10 "	0.03	470
1' 20 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	A - 3 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	110
20 "	0.005	150
30 "	0.01	210
40 "	0.014	270
50 "	0.018	340
1' 0 "	0.023	410
1' 10 "	0.03	450
1' 20 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	P - 1 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	170
20 "	0.003	230
30 "	0.006	330
40 "	0.009	400
50 "	0.012	460
1' 0 "	0.017	460
1' 10 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	P - 2 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	170
20 "	0.006	240
30 "	0.008	280
40 "	0.011	350
50 "	0.014	390
1' 0 "	0.016	430
1' 10 "	0.019	550
1' 20 "	0.023	650
1' 30 "	0.029	760
1' 40 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	P - 3 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.005	150
20 "	0.011	270
30 "	0.017	320
40 "	0.025	340
50 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	P - 1 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	180
20 "	0.004	270
30 "	0.007	330
40 "	0.01	370
50 "	0.013	380
1' 0 "	0.017	450
1' 10 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	P - 2 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	210
20 "	0.006	310
30 "	0.009	380
40 "	0.012	390
50 "	0.017	390
1' 0 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	P - 3 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	160
20 "	0.008	250
30 "	0.013	320
40 "	0.018	330
50 "	0.027	360
1' 0 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	P - 1 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	150
20 "	0.007	210
30 "	0.01	310
40 "	0.016	460
50 "	0.026	
1' 0 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	P - 2 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.005	210
20 "	0.009	300
30 "	0.013	400
40 "	0.018	470
50 "	0.024	500
1' 0 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	P - 3 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	210
20 "	0.007	280
30 "	0.013	380
40 "	0.019	470
50 "	0.027	
1' 0 "		

Resultados ensayos de corte emulsión CRS-1, dosis 0.22 [lt/m²] cambio de temperatura segunda capa.

N° Probeta	Características
CRS - 1 - T140	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1, Segunda capa colocada a 140°C
CRS - 2 - T140	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2, Segunda capa colocada a 140°C
CRS - 3 - T140	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3, Segunda capa colocada a 140°C
CRS - 1 - T130	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1, Segunda capa colocada a 130°C
CRS - 2 - T130	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2, Segunda capa colocada a 130°C
CRS - 3 - T130	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3, Segunda capa colocada a 130°C
CRS - 1 - T120	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1, Segunda capa colocada a 120°C
CRS - 2 - T120	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2, Segunda capa colocada a 120°C
CRS - 3 - T120	Probeta doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3, Segunda capa colocada a 120°C

Fecha : 29-Jun

Tiempo	CRS - 1 - T140	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	200
20 "	0.005	280
30 "	0.008	370
40 "	0.011	480
50 "	0.014	520
1' 0 "	0.018	620
1' 10 "	0.022	680
1' 20 "		

Fecha : 29-Jun

Tiempo	CRS - 2 - T140	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.005	170
20 "	0.012	270
30 "	0.017	340
40 "	0.023	420
50 "	0.035	570
1' 0 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	CRS - 3 - T140	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	180
20 "	0.004	270
30 "	0.006	370
40 "	0.009	470
50 "	0.012	540
1' 0 "	0.016	580
1' 10 "	0.023	
1' 20 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	CRS - 1 - T130	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	160
20 "	0.006	230
30 "	0.009	270
40 "	0.013	300
50 "	0.021	350
1' 0 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	CRS - 2 - T130	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	120
20 "	0.003	230
30 "	0.006	300
40 "	0.009	350
50 "	0.012	400
1' 0 "	0.014	430
1' 10 "	0.019	430
1' 20 "	0.026	430
1' 30 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	CRS - 3 - T130	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	130
20 "	0.003	200
30 "	0.006	230
40 "	0.01	360
50 "	0.016	360
1' 0 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	CRS - 1 - T120	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	150
20 "	0.005	210
30 "	0.008	310
40 "	0.012	350
50 "	0.019	350
1' 0 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	CRS - 2 - T120	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	150
20 "	0.004	210
30 "	0.007	250
40 "	0.011	290
50 "	0.017	350
1' 0 "		

Fecha : 03-Jul

Tiempo	CRS - 3 - T120	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.001	140
20 "	0.004	210
30 "	0.007	290
40 "	0.011	320
50 "	0.015	320
1' 0 "	0.024	
1' 10 "		

Resultados ensayos de corte emulsión Experimental M1, dosis 0.22 [lt/m²] cambio de temperatura segunda capa.

N° Probeta	Características
M1 - 1 -D015	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1, Segunda capa colocada a 140°C
M1 - 2 -D015	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2, Segunda capa colocada a 140°C
M1 - 3 -D015	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3, Segunda capa colocada a 140°C
M1 - 1 -D022	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1, Segunda capa colocada a 130°C
M1 - 2 -D022	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2, Segunda capa colocada a 130°C
M1 - 3 -D022	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3, Segunda capa colocada a 130°C
M1 - 1 -D029	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1, Segunda capa colocada a 120°C
M1 - 2 -D029	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2, Segunda capa colocada a 120°C
M1 - 3 -D029	Probeta doble capa con emulsión Experimental M1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 3, Segunda capa colocada a 120°C

Fecha : 29-Jun

Tiempo	M1 - 1 - T140	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	170
20 "	0.007	270
30 "	0.01	370
40 "	0.011	430
50 "	0.013	520
1' 0 "	0.016	600
1' 10 "	0.019	640
1' 20 "	0.024	670
1' 30 "	0.029	670
1' 40 "		

Fecha : 29-Jun

Tiempo	M1 - 2 - T140	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	140
20 "	0.004	210
30 "	0.007	280
40 "	0.011	350
50 "	0.015	490
1' 0 "	0.02	510
1' 10 "	0.029	560
1' 20 "		

Fecha : 29-Jun

Tiempo	M1 - 3 - T140	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	140
20 "	0.004	190
30 "	0.008	230
40 "	0.011	270
50 "	0.015	330
1' 0 "	0.021	410
1' 10 "	0.031	490
1' 20 "		

Fecha : 29-Jun

Tiempo	M1 - 1 - T130	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	130
20 "	0.004	230
30 "	0.007	300
40 "	0.01	330
50 "	0.013	400
1' 0 "	0.017	450
1' 10 "	0.021	480
1' 20 "	0.025	480
1' 30 "		

Fecha : 29-Jun

Tiempo	M1 - 2 - T130	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	150
20 "	0.006	210
30 "	0.009	280
40 "	0.013	340
50 "	0.018	390
1' 0 "	0.022	430
1' 10 "	0.028	460
1' 20 "	0.035	
1' 30 "		

Fecha : 29-Jun

Tiempo	M1 - 3 - T130	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	110
20 "	0.006	160
30 "	0.008	230
40 "	0.012	300
50 "	0.016	380
1' 0 "	0.019	460
1' 10 "	0.024	470
1' 20 "	0.029	530
1' 30 "	0.039	530
1' 40 "		

Fecha : 29-Jun

Tiempo	M1 - 1 - T120	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	180
20 "	0.009	250
30 "	0.014	340
40 "	0.018	390
50 "	0.024	450
1' 0 "	0.03	490
1' 10 "	0.04	
1' 20 "		

Fecha : 29-Jun

Tiempo	M1 - 2 - T120	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	160
20 "	0.007	240
30 "	0.012	300
40 "	0.018	360
50 "	0.024	420
1' 0 "	0.032	420
1' 10 "		

Fecha : 29-Jun

Tiempo	M1 - 3 - T120	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.003	150
20 "	0.006	240
30 "	0.01	280
40 "	0.014	360
50 "	0.02	360
1' 0 "	0.03	380
1' 10 "		

Resultados ensayos de corte a testigos con emulsión CRS-1.

N° Probeta	Características
T - 1 - SE	Testigo de doble capa sin emulsión, N° 1
T - 2 - SE	Testigo de doble capa sin emulsión, N° 2
T - 3 - SE	Testigo de doble capa sin emulsión, N° 3
T - 4 - SE	Testigo de doble capa sin emulsión, N° 4
T - 1 - MO	Testigo Monolítico N° 1, una capa
T - 2 - MO	Testigo Monolítico N° 2, una capa
T - 3 - MO	Testigo Monolítico N° 3, una capa
T - 1 - D007	Testigo de doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 1
T - 2 - D007	Testigo de doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,07 [lt/m ²], N° 2
T - 1 - D015	Testigo de doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 1
T - 2 - D015	Testigo de doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,15 [lt/m ²], N° 2
T - 1 - D022	Testigo de doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 1
T - 2 - D022	Testigo de doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,22 [lt/m ²], N° 2
T - 1 - D029	Testigo de doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 1
T - 2 - D029	Testigo de doble capa con emulsión CRS-1, dosis aplicada 0,29 [lt/m ²], N° 2

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 1 - SE	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.007	230
20 "	0.016	330
30 "	0.025	480
40 "	0.041	520
50 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 2 - SE	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.01	180
20 "	0.018	280
30 "	0.028	430
40 "	0.038	550
50 "	0.053	
1' 0 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 3 - SE	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.008	250
20 "	0.019	360
30 "	0.032	390
40 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 4 - SE	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.013	170
20 "	0.024	240
30 "	0.035	340
40 "	0.046	420
50 "	0.06	
1' 0 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 1 - MO	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.01	160
20 "	0.015	260
30 "	0.019	400
40 "	0.025	550
50 "	0.028	670
1' 0 "	0.031	780
1' 10 "	0.034	940
1' 20 "	0.038	1050
1' 30 "	0.041	1150
1' 40 "	0.046	1240
1' 50 "	0.051	1310
2' 0 "	0.058	1310
2' 10 "	0.063	1360
2' 20 "	0.072	1340
2' 30 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 2 - MO	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	120
20 "	0.006	250
30 "	0.008	380
40 "	0.011	460
50 "	0.014	590
1' 0 "	0.017	700
1' 10 "	0.019	760
1' 20 "	0.022	870
1' 30 "	0.025	970
1' 40 "	0.027	1040
1' 50 "	0.03	1040
2' 0 "	0.032	1110
2' 10 "	0.036	1120
2' 20 "	0.04	1160
2' 30 "	0.047	1090
2' 40 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 3 - MO	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.024	120
20 "	0.03	200
30 "	0.037	370
40 "	0.043	490
50 "	0.049	650
1' 0 "	0.054	820
1' 10 "	0.059	1000
1' 20 "	0.064	1190
1' 30 "	0.069	1360
1' 40 "	0.074	1350
1' 50 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 1 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	200
20 "	0.011	320
30 "	0.016	410
40 "	0.023	480
50 "	0.029	600
1' 0 "	0.039	600
1' 10 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 2 - D007	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.005	200
20 "	0.01	340
30 "	0.015	440
40 "	0.021	540
50 "	0.032	540
1' 0 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 1 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.005	140
20 "	0.012	240
30 "	0.02	360
40 "	0.027	490
50 "	0.038	550
1' 0 "	0.053	400
1' 10 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 2 - D015	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.004	180
20 "	0.013	250
30 "	0.022	390
40 "	0.032	510
50 "	0.045	540
1' 0 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 1 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.002	240
20 "	0.008	400
30 "	0.017	500
40 "	0.025	600
50 "	0.04	
1' 0 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 2 - D022	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.008	220
20 "	0.015	330
30 "	0.023	410
40 "	0.032	530
50 "	0.044	640
1' 0 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 1 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.013	160
20 "	0.023	300
30 "	0.031	460
40 "	0.04	610
50 "	0.05	670
1' 0 "	0.065	650
1' 10 "		

Fecha : 23-Jul

Tiempo	T - 2 - D029	
	Def	Carga
0 "	0	0
10 "	0.012	130
20 "	0.023	230
30 "	0.035	330
40 "	0.047	440
50 "	0.059	500
1' 0 "	0.074	
1' 10 "		

ANEXO C
ESPECIFICACIONES PARA EMULSIONES ASFALTICAS

Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Catiónicas NCh 2448 (LNU-31)

TIPOS	NORMA	QUIEBRE RAPIDO				QUIEBRE MEDIO				QUIEBRE LENTO				QUICK SETTING	
		CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1h	
ENSAYOS		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, (s)	NCh2334									20	100	20	100	20	100
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, (s)	NCh2334	20	100	100	400	50	450	50	450						
Estabilidad almacenamiento, 1 día, (%)	NCh2348		1		1		1		1		1		1		
Demulsibilidad, 35 ml, 0,8% dioctyl sulfosuccinato de sodio, (%)	NCh2348	40		40											
Cubrimiento y resistencia al agua:	NCh2348					Bueno		Bueno							
Cubrimiento, agregado seco						Regular		Regular							
Cubrimiento, luego de esparcido						Regular		Regular							
Cubrimiento, agregado húmedo						Regular		Regular							
Cubrimiento, luego de esparcido						Regular		Regular							
Carga de partícula (b)	NCh2348	Positiva para todos los tipos													
Tamizado, (%)	NCh2348	Máximo 0,10 para todos los tipos													
Mezcla con cemento, (%)	NCh2348										2,0		2,0		N/A (a)
Destilación:	NCh2348														
Aceite destilado, por volumen de emulsión, (%)			3		3		12		12						
Residuo, (%)		60		65		65		65		57		57		57	
Residuo de destilación:	NCh2340														
Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, (0,1 mm)		100	250	100	250	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, (cm)	NCh2342	Mínimo 40 para todos los tipos													
Solubilidad en Tricloroetileno, (%)	NCh2341	Mínimo 97,5 para todos los tipos													
Mancha: Heptano-Xilol, (% Xilol)	NCh2343	Negativo en todos los grados para 25 % máximo de xilol													

Nota

(a) Ensayo no aplicable, de acuerdo a Norma ASTM D2397

(b) Si el ensayo de carga de partícula resulta inconcluyente, se aceptará el material que tenga un pH máximo de 6,7.

Especificaciones para Emulsiones Asfálticas Aniónicas NCh 2440 (LNU-30)

TIPOS	NORMA	QUIEBRE RAPIDO				QUIEBRE MEDIO				QUIEBRE LENTO					
		RS-1		RS-2		MS-1		MS-2		MS-2h		SS-1		SS-1h	
ENSAYOS		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
Viscosidad Saybolt Furol a 25°C, (s)	NCh2334	20	100			20	100	100		100		20	100	20	100
Viscosidad Saybolt Furol a 50°C, (s)	NCh2334			75	400										
Estabilidad en almacenamiento, 1 día, (%)	NCh2348	Máximo 1 para todos los tipos													
Demulsibilidad, 35 ml 0,02 N, CaCl ₂ , (%) (a)	NCh2348	60		60											
Cubrimiento y resistencia al agua:	NCh2348					Bueno		Bueno		Bueno					
Cubrimiento, agregado seco						Regular		Regular		Regular					
Cubrimiento, luego de esparcido						Regular		Regular		Regular					
Cubrimiento, agregado húmedo						Regular		Regular		Regular					
Cubrimiento, luego de esparcido						Regular		Regular		Regular					
Carga de partícula	NCh2348	Negativa para todos los tipos													
Mezcla con cemento, (%)	NCh2348											2,0			2,0
Tamizado, (%)	NCh2348	Máximo 0,10 para todos los tipos													
Residuo de la destilación, (%)	NCh2347	55		63		55		65		65		57		57	
Residuo destilación:	NCh2340														
Penetración, 25°C, 100 g, 5s, (0,1 mm)		100	200	100	200	100	200	100	200	40	90	100	200	40	90
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, (cm)	NCh2342	Mínimo 40 para todos los tipos													
Solubilidad en tricloroetileno, (%)	NCh2341	Mínimo 97,5 para todos los tipos													
Mancha: Heptano-Xilol, (% Xilol)	NCh2343	Negativo en todos los grados para 25 % máximo de xilol													

Nota (a)

El ensayo de demulsibilidad se hará dentro de los 30 días de la fecha de embarque.