



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

**Evaluación de la adherencia entre capas de
pavimento empleando diferentes emulsiones
asfálticas.**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL - GEOTECNIA

P R E S E N T A

LETICIA ONTIVEROS ROJAS

TUTOR

**DR. JESÚS ALFREDO HERNÁNDEZ NOGUERA
INSTITUTO DE INGENIERÍA**

MÉXICO, D.F. ENERO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

P r e s i d e n t e: M.I. Deméneghi Colina Agustín

S e c r e t a r i o: M.I. López Rincon German

V o c a l: Dr. Jesús Alfredo Hernández Noguera

1^{er.} S u p l e n t e: Dra. Ossa López Alexandra

2^{do.} S u p l e n t e: Dr. Marin Córdoba Salvador

Lugar o lugar en donde se realizó la
Tesis: **ÁREA DE VÍAS TERRESTRES, INSTITUTO DE INGENIERÍA
UNAM.**

TUTOR DE TESIS:

Dr. Jesús Alfredo Hernández Noguera

FIRMA

Agradecimientos.....	VII
Resumen.....	IX
Abstract.....	X
Lista de Figuras.....	XI
Lista de Tablas.....	XV
Capítulo 1. Introducción y Objetivos	
1.1 Introducción.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivo.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Hipótesis.....	4
Capítulo 2. Estado del Arte	
2.1 Introducción.....	6
2.2 Las emulsiones asfálticas.....	6
2.3 Componentes de las emulsiones asfálticas.....	7
2.3.1 Asfalto.....	7
2.3.2 Agua.....	8
2.3.3 Agente emulsificante.....	9
2.4 Clasificación de las emulsiones asfálticas.....	10
2.5 Aplicaciones de las emulsiones asfálticas en pavimentos.....	11
2.6 Adherencia entre capas de pavimento.....	15
2.6.1 Ensayo de corte Superpave Shear Test.....	15
2.6.2 Ensayo de corte Swiss Standard.....	15
2.6.3 Ensayo Leutne Shear Test.....	16
2.6.4 Ensayo de corte LCB.....	17
2.6.4.1 Proceso de ejecución para el Ensayo de Corte LCB.....	18
Capítulo 3. Trabajo Experimental	
3.1 Introducción.....	22
3.2 Materiales considerados.....	22

3.2.1 Desarrollo situado para la pruebas índice.....	22
3.2.2 Desarrollo situado para las hipótesis supuestas para la Adherencia entre capas asfálticas.....	23
3.3 Caracterización de los materiales utilizados.....	24
3.3.1 Agregado mineral.....	24
3.3.1.1 Granulometría.....	24
3.3.1.2 Equivalente de arena.....	25
3.3.1.3 Densidad Relativa y absorción.....	26
3.3.1.4 Plasticidad.....	27
3.3.1.5 Límites de Atterberg.....	27
3.3.1.6 Desgaste mediante la prueba de los Ángeles.....	28
3.3.1.7 Resumen.....	29
3.3.2 Asfalto.....	30
3.3.2.1 Penetración.....	30
3.3.2.2 Punto de inflamación Cleveland.....	31
3.3.2.3 Punto de reblandecimiento anillo y bola.....	31
3.3.2.4 Resumen.....	32
3.3.3 Emulsiones asfálticas.....	33
3.3.3.1 Viscosidad Saybolt Furol.....	33
3.3.3.2 Asentamiento.....	33
3.3.3.3 Retenido en malla No. 20.....	34
3.3.3.4 Miscibilidad con cemento Pórtland.....	35
3.3.3.5 Carga de partícula.....	35
3.3.3.6 Contenido de agua.....	36
3.3.3.7 Residuo de destilación.....	36
3.3.3.8 Resumen.....	37
3.4 Método Marshall.....	38
3.4.1 Preparación de las muestras de ensayo para una mezcla densa y abierta.....	38
3.4.2 Determinación del contenido de asfalto para una mezcla densa y abierta.....	40
3.4.2.1 Mezcla asfáltica densa.....	40
3.4.2.2 Mezcla asfáltica abierta.....	41

3.5 Preparación de mezcla asfáltica en compactador dinámico.....	42
3.5.1 Preparación de mezcla densa.....	42
3.5.2 Preparación de mezcla abierta.....	43
3.5.3 Dosificación de emulsión.....	43
3.5.4 Aplicación de Poreo en una Placa Asfáltica Densa.....	44
3.6 Evaluación de adherencia entre capas.....	45
3.6.1 Preparación de los especímenes de prueba.....	45
3.6.2 Condiciones de ensayos.....	45
3.6.3 Ejecución de los ensayos de cortante.....	46

Capítulo 4. Análisis de Resultados

4.1 Introducción.....	49
4.2 A mayor contenido de polímero en la emulsión mayor resistencia de la liga.....	50
4.2.1 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C.....	50
4.2.2 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C....	51
4.2.3 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C.....	54
4.2.4 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C...55	
4.3 Asfaltos más dúctiles generan una mayor adherencia, lo que favorece la resistencia de la liga.....	58
4.3.1 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C.....	58
4.3.2 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C....	59
4.3.3 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C.....	61
4.3.4 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C....	62
4.4 A mayor asfalto residual mayor resistencia de la liga.....	64
4.4.1 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C.....	64
4.4.2 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C...65	
4.4.3 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C.....	67
4.4.4 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C...68	
4.5 Evaluación de la emulsión convencional superestable frente a las modificadas.....	70
4.5.1 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C.....	70
4.5.2 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C...71	
4.5.3 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C.....	73
4.5.4 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C...74	

4.6 Las prácticas de construcción como el poreo dañan el riego de liga.....	76
4.6.1 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C.....	76
4.6.2 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C...	77
4.6.3 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C....	78
4.6.4 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C...	79

Capítulo 5. Conclusiones

5.1 Conclusiones.....	81
5.2 Líneas de investigación recomendadas.....	82

Capítulo 6. Bibliografía

6.1 Bibliografía.....	84
-----------------------	----

Anexos

A1. Graficas de comportamiento.....	87
A2. Reporte fotográfico.....	118

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Gracias padre por haberme apoyado en esta etapa de mi vida, ya que tu me has apoyado no hoy si no siempre, y que yo sé que sin ti señor no estuviera donde estoy ahora. Gracias por lo que me has brindado.

A Mis Padres

Juana y Pedro, gracias por su incondicional apoyo y afecto, gracias por darme los valores, las herramientas y la confianza para llegar a este punto de mi vida.

A Mis Hermanos

Felipe, Higinio, Esther, Cristina, Silvia y Fernando, gracias por creer en mí y por el apoyo que me brindaron y por lo que aún me siguen apoyando gracias a todos.

A Mis Sobrinos

Alberto, Alejandra, Alicia, Erika, Christian, Cristina, Jessica, Fernanda, Axel, Miruslava, Fernando y Uriel, gracias por su compañía y apoyo incondicional.

A mis amigos: Luis, Vero, Gabo, Vane, Ángeles, Yola, Gaby, Pepe, Eva y Eymard. Gracias por su incondicional apoyo y por creer en mí.

Gracias a mis compañeros de **Generación de Maestría (2010-2012)**, que de una u otra manera estuvieron pendientes a lo largo de este proceso, brindado su apoyo incondicional.

Dr. Jesús Alfredo Hernández Noguera

Gracias por el apoyo, por su comprensión, por la confianza y por haberme alentado durante este tiempo que me brindó al realizar mi trabajo de tesis, en el Laboratorio de Vías Terrestres del Instituto de Ingeniería. Gracias

Dr. Efraín Ovando Shelley y al Dr. Gustavo Ayala Milián

Gracias por haberme apoyado y alentado durante este tiempo que estuve trabajando en mi investigación de Tesis en el Área de Vías Terrestres, ya que sin su ayuda no hubiera culminado mi trabajo. Gracias

Finalmente agradecer a todo el equipo de trabajo del Laboratorio de Vías Terrestres del Instituto de Ingeniería, quienes me han brindado toda su ayuda y experiencia, quisiera mencionar a la **Dra. Alexandra, Ing. Rangel, Maribel, Daniel y Úrsula**, gracias por su disposición y colaboración. Gracias de igual manera a **Joel, Roberto, Francisco, Hugo y Santiago**, por su ayuda incondicional, su experiencia y simpatía. Gracias

Gracias a todos mis **sinodales** por sus recomendaciones, consejos y de más. Gracias

Gracias a todos los que creyeron en mí.

"Tu espíritu es el plumero de cualquier tela de araña. Detrás de cada línea de llegada, hay una de partida. Detrás de cada logro, hay otro desafío. Mientras estés vivo, siéntete vivo. Si extrañas lo que hacías vuelve a hacerlo. No vivas de fotos amarillas... Sigue aunque todos esperen que abandones. No dejes que se oxide el hierro que hay en ti. Haz que en vez de lástima, te tengan respeto. Cuando por los años no puedas correr, trota. Cuando no puedas trotar, camina. Cuando no puedas caminar, usa el bastón. ¡Pero nunca te detengas!". (Madre Teresa de Calcuta).

RESUMEN

Esta tesis de investigación pretende evaluar distintas emulsiones asfálticas (ECR-1P, ECR 60-90, ECR60-110, ECR-2P, ECR65-90, ECS60-90 y Termoadherente), variando su contenido de asfalto y dosificación. Para ello, se empleará el ensayo de corte directo LCB regido por la norma española NLT-328/08 [5].

El ensayo permite determinar el esfuerzo cortante necesario para separar las dos capas, como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas. Para ello se fabricarán especímenes de ensayo simulando una estructura de carpeta-liga-sobre carpeta.

El objetivo de este trabajo es evaluar la capacidad de adherencia de distintas emulsiones asfálticas que se emplean como material de liga entre las capas de pavimento.

A partir de lo anterior, se evaluarán las siguientes hipótesis:

- ✓ A mayor contenido de polímero en la emulsión mayor resistencia de la liga.
- ✓ Asfaltos más dúctiles generan una mayor adherencia, lo que favorece la resistencia de la liga.
- ✓ A mayor asfalto residual mayor resistencia de la liga.
- ✓ Valoración de la emulsión convencional superestable frente a las modificadas.
- ✓ Las prácticas de construcción como el poreo dañan el riego de liga.

ABSTRACT

This thesis research is to evaluate different asphalt emulsions (ECR-1P, ECR 60-90, ECR60-110, ECR-2P, ECR65-90, ECS60 and Termoadherente), varying asphalt content and dosage. To do this, will use the direct shear test LCB ruled by the Spanish standard NLT-328/08 [5].

The test determines the shear stress required to separate two layers as a parameter to evaluate the adhesion between them. These manufactured test specimens simulate a folder structure-league-on folder.

The aim of this study is to evaluate the adhesion of different asphalt emulsions that are used as a material link between the pavement layers.

From the above, it will evaluate the following hypotheses:

- ✓ A higher content of polymer in the emulsion increases strength of the league.
- ✓ Asphalts more ductile generate increased adhesion, which favors the resistance of the alloy.
- ✓ A higher residual asphalt increases strength of the league.
- ✓ Valoracion emulsion extremely stable compared to conventional modified.
- ✓ Construction practices as damaging poreo.

Fig. 1 Esfuerzo cortante entre capas de pavimento, izquierda con adherencia y derecha sin adherencia.....	2
Fig. 2 Falla por exceso de asfalto en riego de liga [4].....	3
Fig. 3 Diagrama del ensayo cortante LCB.....	3
Fig. 4 Estructura: Carpeta-liga-sobrecarpeta.....	4
Fig. 5 Emulsión y Cargas que contienen los Glóbulos.....	7
Fig. 6 Tamaño relativo y distribución de las partículas de asfalto en una emulsión.....	8
Fig. 7 Fase oleosa o fase lipófila [9].....	10
Fig. 8 Ejecución de la imprimación.....	12
Fig. 9 Ejecución del Riego de liga.....	12
Fig. 10 Proceso constructivo de la imprimación reforzada.....	12
Fig. 11 Aplicación de tratamiento superficial simple.....	13
Fig. 12 Distribución para tratamiento superficial doble.....	13
Fig. 13 Colocación de Tratamiento superficial simple.....	14
Fig. 14 Ejecución del Slurry Seal.....	14
Fig. 15 Acabado final del Slurry Seal.....	14
Fig. 16 Estabilización con emulsión asfáltica.....	14
Fig. 17 Equipo de Corte Superpave Shear Test.....	15
Fig. 18 Equipo de Corte Swiss Standard.....	16
Fig. 19 Equipo de Corte Leutner.....	17
Fig. 20 Ensayo de Corte LCB.....	17
Fig. 21 Base para el ensayo de probetas y testigos, con dos puntos de apoyo.....	18
Fig. 22 Mordazas para el ensayo de probetas.....	19

Fig. 23	Probeta lista para ensayar.....	19
Fig. 24	Prueba de ensayo de corte LCB.....	20
Fig. 25	Probeta con ensayo de corte LCB.....	20
Fig. 26	Zona de Especificación Granulométrica.....	23
Fig. 27	Granulometría de Agregados Finos y Gruesos.....	23
Fig. 28	Prueba de Equivalente de Arena.....	24
Fig. 29	Prueba de Densidad en Agregados Finos.....	25
Fig. 30	Prueba de Absorción en agregados gruesos.....	25
Fig. 31	Prueba de Plasticidad.....	26
Fig. 32	Prueba de límite líquido por el método de Casagrande.....	26
Fig. 33	Desgaste mediante la prueba de los Ángeles.....	27
Fig. 34	Prueba de Penetración.....	29
Fig. 35	Prueba de Punto de Inflamación.....	30
Fig. 36	Prueba de Reblandecimiento Anillo y Bola.....	31
Fig. 37	Equipo para prueba Saybolt.....	32
Fig. 38	Prueba de Asentamiento.....	33
Fig. 39	Prueba de Retenido en malla No. 20.....	33
Fig. 40	Prueba de miscibilidad con cemento Portland.....	34
Fig. 41	Prueba de Carga de Partícula.....	34
Fig. 42	Prueba de contenido de agua.....	35
Fig. 43	Prueba de Destilación.....	35
Fig. 44	Método Marshall.....	37
Fig. 45	Equipo de trabajo colocado a una temperatura de 150°C (+5°C), listo para mezclar.....	38

Fig. 46 Molde listo para compactar.....	38
Fig. 47 Probetas listas para ser extraídas de los moldes.....	39
Fig. 48 Fabricación de una placa Densa.....	41
Fig. 49 Placa de mezcla densa en reposo.....	41
Fig. 50 Placa de mezcla abierta en reposo.....	42
Fig. 51 Dosificación de emulsión.....	43
Fig. 52 Aplicación de riego de liga en la placa.....	43
Fig. 53 Empleo de emulsión y distribución de poreo en placa asfáltica densa.....	45
Fig. 54 Vaciado de mezcla asfáltica sobre el poreo de una placa densa.....	45
Fig. 55 Extractor de especímenes.....	46
Fig. 56 Probetas listas para ser acondicionadas a temperatura requerida.....	46
Fig. 57 Probetas acondicionadas.....	47
Fig. 58 Ensayo de Corte.....	47
Fig. 59 Resultados después del ensayo de corte.....	48
Fig. 60 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 2.7% de Polímero...52	
Fig. 61 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 3.7% de Polímero...53	
Fig. 62 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 4.7% de Polímero...54	
Fig. 63 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 2.7% de Polímero...56	
Fig. 64 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 3.7% de Polímero...57	
Fig. 65 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 4.7% de Polímero...58	
Fig. 66 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido de baja viscosidad, con baja penetración.....	60
Fig. 67 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido, de baja viscosidad, con alta penetración.....	61
Fig. 68 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido, de baja viscosidad, con baja penetración.....	63

Fig. 69 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido, de baja viscosidad, con alta penetración.....	64
Fig. 70 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido.....	66
Fig. 71 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido de viscosidad intermedia, de baja penetración.....	67
Fig. 72 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido.....	69
Fig. 73 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido de viscosidad intermedia, de baja penetración.....	70
Fig. 74 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento “Superestable”.....	72
Fig. 75 Promedio Final de una Emulsión Termoadherente.....	73
Fig. 76 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento “Superestable”.....	75
Fig. 77 Promedio Final de una Emulsión Termoadherente.....	76
Fig. 78 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento “Superestable” con poreo.....	78
Fig. 79 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento “Superestable” con poreo.....	80

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las Emulsiones Asfálticas.....	11
Tabla 2. Granulometría determinada para una mezcla densa por la SCT.....	27
Tabla 3. Granulometría determinada para una mezcla abierta por la SCT.....	28
Tabla 4. Requisitos de calidad para Agregados de Calidad.....	28
Tabla 5. Requisitos de calidad para Asfalto AC-20.....	31
Tabla 6. Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas.....	36
Tabla 7. Prueba Marshall para una Mezcla Densa.....	40
Tabla 8. Prueba Marshall para una Mezcla Abierta.....	40
Tabla 9. Resultados de adherencia de un ECR-1P a temperatura de 25°C...50	
Tabla 10. Resultados de adherencia de un ECR-1P a temperatura de 40°C...54	
Tabla 11. Resultados de adherencia de un ECR60-90 y ECR60-110 a temperatura de 25°C.....	58
Tabla 12. Resultados de adherencia de un ECR60-90 y ECR60-110 a temperatura de 40°C.....	61
Tabla 13. Resultados de adherencia de un ECR-2P y ECR65-90 a temperatura de 25°C.....	64
Tabla 14. Resultados de adherencia de un ECR-2P y ECR65-90 a temperatura de 40°C.....	67
Tabla 15. Resultados de adherencia de un ECS60-90 a temperatura de 25°C.....	70
Tabla 16. Resultados de adherencia de una TERMOADHERENTE a temperatura de 25°C.....	70
Tabla 17. Resultados de adherencia de una ECS60-90 a temperatura de 40°C.....	73
Tabla 18. Resultados de adherencia de una TERMOADHERENTE a temperatura de 40°C.....	73
Tabla 19. Resultados de adherencia con poreo con una ECS60-90 a 25°C...76	
Tabla 20. Resultados de adherencia con poreo con una ECS60-90 a 40°C....78	

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

México es una de las principales economías de Latinoamérica y cuenta con el impulso para convertirse en un polo de desarrollo mundial, para alcanzar estas metas es necesario contar con una infraestructura carretera, ferroviaria, aérea y marítima que pueda satisfacer las demandas de un mundo globalizado. Esta infraestructura debe poseer atributos clave, como la cobertura amplia y la alta calidad; frente a estos dos atributos, México tiene grandes retos.

Es evidente para todos, la insuficiencia en la cobertura de la infraestructura, en especial la carretera.

Contamos con tramos carreteros con especificaciones que deben ser renovadas significativamente. A esto debemos añadir la imperiosa necesidad de brindar una mayor calidad de construcción y sumar un servicio de mantenimiento acorde. Para que lo anterior sea posible, resulta necesario contar con proyectos y especificaciones que recojan las mejores prácticas de diseño y construcción del mundo [1].

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Diversas investigaciones han evidenciado que el grado de liga entre las capas de pavimento, juega un rol fundamental en la vida útil del pavimento, demostrando que bajos niveles de liga repercuten en la aparición de grietas prematuras o una disminución significativa en la vida útil del pavimento (Fig. 1).

En el sistema multicapas de un pavimento, el cálculo estructural se realiza suponiendo que existe una perfecta liga entre las distintas capas. Se asume que éstas se comportan de manera monolítica. Sin embargo esto no ocurre en la realidad [2].

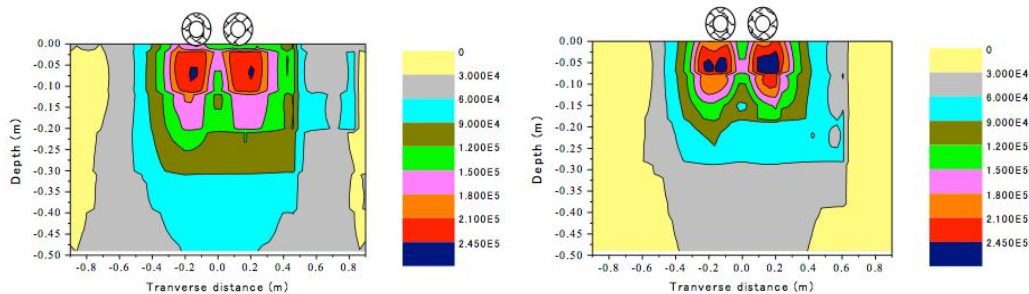


Fig. 1 Esfuerzo cortante entre capas de pavimento, izquierda con adherencia y derecha sin adherencia.

La falta de liga entre capas ocasiona problemas como fisuras y desplazamientos entre capas que se pueden prevenir asegurando la calidad de los materiales así como una correcta fase constructiva.



Fig. 2 Falla por exceso de asfalto en riego de liga [4]

Actualmente, en la normativa SCT existen una serie de ensayos para asegurar la calidad de la emulsión asfáltica pero no se encuentra normado un ensayo para evaluar la adherencia de dichas emulsiones aplicadas en capas de pavimento [3].

Esta es la razón por la que las emulsiones se aplican en un rango de dosificación amplio que va desde 0.4 hasta 1.0 lt/m². Usualmente, se aplica una dosificación promedio a modo de “receta” que funciona en algunos casos pero en la mayoría de ellos este contenido es escaso o sobrado.

A partir de lo anterior, surge la necesidad de desarrollar esta tesis de investigación donde se pretenden evaluar distintas emulsiones asfálticas variando su contenido de asfalto y dosificación. Para ello, se empleará el ensayo de corte directo LCB regido por la norma española NLT-328/08 [5].

El ensayo permite determinar el esfuerzo cortante necesario para separar las dos capas, como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas (Fig. 3). También, es posible determinar la energía de deformación correspondiente al área delimitada bajo la curva carga-desplazamiento obtenida del ensayo.

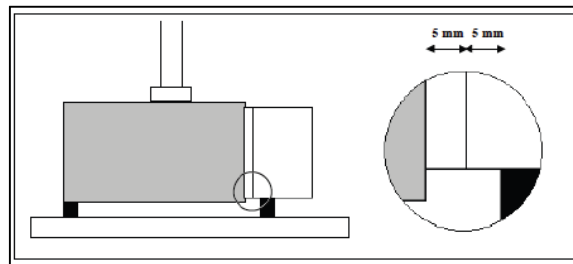


Fig. 3 Diagrama del ensayo cortante LCB

Se fabricarán especímenes de ensayo simulando una estructura de carpeta-liga-sobre carpeta.

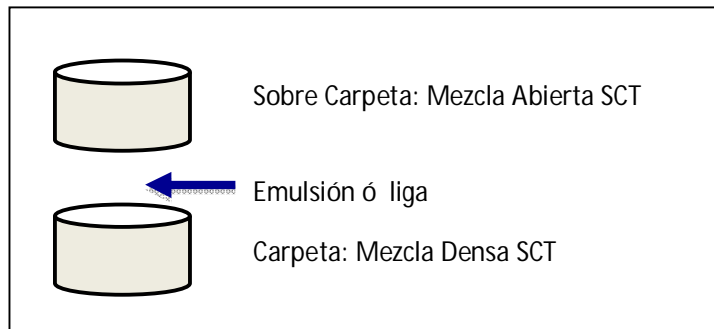


Fig. 4 Estructura: Carpeta-liga-sobrecarpeta

1.3 OBJETIVO

Para el desarrollo de esta tesis se ha planteado el siguiente objetivo general e hipótesis.

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad de adherencia de distintas emulsiones asfálticas que se emplean como material de liga entre las capas de pavimento.

1.3.2 Hipótesis

A partir de lo anterior, se evaluarán las siguientes hipótesis:

- A mayor contenido de polímero en la emulsión mayor resistencia de la liga
- Asfaltos más dúctiles generan una mayor adherencia, lo que favorece la resistencia de la liga
- A mayor asfalto residual mayor resistencia de la liga
- Valoración de la emulsión convencional superestable frente a las modificadas
- Las prácticas de construcción como el poreo dañan el riego de liga

CAPÍTULO 2
ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN

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

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

Una capa de adherencia en exceso puede crear un plano de deslizamiento entre las dos capas de pavimento ya que el asfalto actúa más bien como un lubricante en lugar de un adherente. Puede crear en la superficie del nuevo pavimento áreas blandas o de "sangrado", condiciones que no solamente son invisibles sino que producen pavimentos peligrosamente estabilizados

La adherencia final conseguida entre capas depende no sólo de como se haya realizado el riego, si no que la dosis sea la apropiada, de que se haya adherido bien a la capa inferior, o de que el tráfico de obra no lo haya levantado, sino también de como se ha ejecutado la nueva capa. 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.

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 0.40 a 1.0 lt/m² de emulsión asfáltica.

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 [6].

2.2 LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

La emulsión asfáltica es una dispersión estable de pequeños glóbulos de asfalto y de agua. Como el asfalto y el agua son inmiscibles por medio de un agente emulsificante se logra la disolución y mezcla de los dos.

Las emulsiones asfálticas son los materiales asfálticos líquidos estables constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continua de la emulsión está formada por pequeños glóbulos de cemento asfáltico. El emulsificante es una molécula formada por una cabeza iónica polar químicamente compatible con el agua y una cadena hidrocarbonada químicamente compatible con el asfalto.

De acuerdo con los emulsificantes usados, se obtienen dos clasificaciones de emulsiones asfálticas:

- **Emulsiones Aniónicas:** La emulsión aniónica (sales sódicas o potásicas de ácidos orgánicos de cadena compleja), es aquella en que la polaridad del emulsionante es de carga negativa y descarga en el ánodo ideal (ideales para agregados calizos que ionizan positivamente).
- **Emulsiones Catiónicas:** La emulsión catiónica (producto de reacción de ácidos inorgánicos fuertes como ácidos clorhídricos, con aminas grasas), es aquella en que la polaridad del emulsionante es de carga positiva y descargan en el ánodo (ideal para agregados silíceos que se ionizan negativamente) [7].

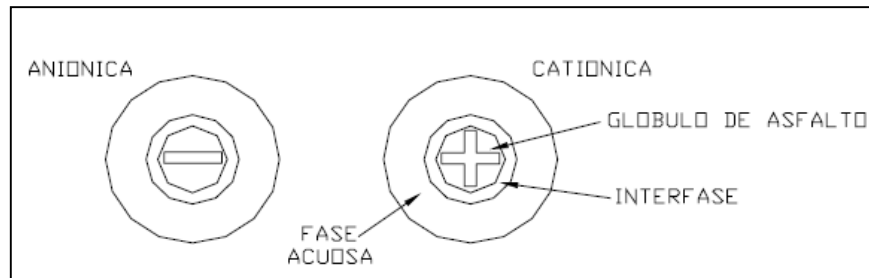


Fig. 5 Emulsión y Cargas que contienen los Glóbulos

2.3 COMPONENTES DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

Para comprender por qué las emulsiones asfálticas funcionan, es esencial examinar el papel de los tres componentes principales que son los siguientes: asfalto, agua y un agente emulsificante.

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

2.3.1 Asfalto

El cemento asfáltico es el elemento básico de la emulsión asfáltica y, en la mayoría de los casos, constituye entre un 50 y un 75 % de la emulsión. La química de asfalto es una materia compleja, y no es necesario, para el caso, examinar todas las propiedades del cemento asfáltico. Algunas propiedades del cemento asfáltico si afectan significativamente la emulsión final. Sin embargo, no hay correlación exacta entre las propiedades del asfalto y la facilidad con que el asfalto es emulsionado.

Si bien la dureza de la base de cemento asfáltico puede variar, la mayoría de las emulsiones es hecha de asfaltos con un rango de penetraciones 60-250mm.

En ocasiones, las condiciones climáticas pueden requerir una base asfáltica más dura o más blanda. En cualquier caso, la compatibilidad química entre el agente emulsivo y el cemento asfáltico es esencial para la producción de una emulsión estable.

El asfalto proviene principalmente de la refinación del crudo del petróleo. El asfalto está compuesto básicamente de grandes moléculas de hidrocarburos, y su composición química es variada. La estructura coloidal del asfalto depende de la naturaleza química y del porcentaje de moléculas de hidrocarburos, y de la relación entre estas.

Las propiedades químicas y físicas del asfalto, se deben esencialmente a las variaciones en las fuentes del crudo y en los métodos de refinación. Naturalmente, las propiedades del cemento asfáltico afectarán el comportamiento del residuo asfáltico en el camino.

La compleja interacción de las diferentes moléculas hace casi imposible predecir con precisión el comportamiento de un asfalto que será emulsificador. Por esa razón, la producción de emulsiones tiene sus propias formulaciones y técnicas de producción. Ellas han sido desarrolladas para alcanzar los resultados óptimos con el cemento asfáltico y los químicos emulsivos empleados.

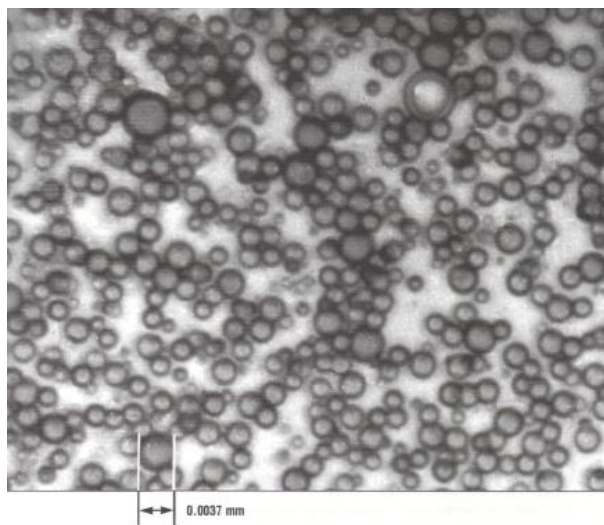


Fig. 6 Tamaño relativo y distribución de las partículas de asfalto en una emulsión [8]

2.3.2 Agua

El segundo componente en una emulsión asfáltica es el agua. Su contribución a las propiedades deseadas en el producto final no puede ser minimizada. El agua puede contener minerales u otros elementos que afectan la producción de emulsiones asfálticas estables. Consecuentemente, el agua potable puede no ser adecuada para las emulsiones asfálticas.

El agua encontrada en la naturaleza puede ser inadecuada debido a impurezas, sea en solución o en suspensión coloidal. Preocupa particularmente la presencia de iones de calcio y de magnesio. Estos iones favorecen la formación de una emulsión catiónica estable. De hecho, frecuentemente se adiciona cloruro de calcio a las emulsiones catiónicas, con el objeto de aumentar la estabilidad durante el almacenamiento.

2.3.3 Agente Emulsificante

Las propiedades de las emulsiones asfálticas dependen en gran medida de los agentes químicos utilizados como emulsivos. El agente emulsivo mantiene las gotitas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura. Es también el factor determinante en la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no-iónicas.

En la primera época de la elaboración de emulsiones asfálticas, se utilizaban como agentes emulsivos sangre de buey, arcillas y jabones. Al aumentar la demanda de emulsiones, se encontraron agentes emulsivos más eficaces. Muchos agentes emulsivos están ahora comercialmente disponibles.

Los agentes emulsivos aniónicos más comunes son los ácidos grasos, que son productos derivados de la madera, como aceites (resinas, ligninas, etc.). Los emulsivos aniónicos son saponificados (convertidos en jabón) al reaccionar con hidróxido de sodio o hidróxido de potasio.

Los agentes emulsivos catiónicos, en su mayoría, son aminas grasas. Las aminas se convierten en jabón al reaccionar con un ácido, usualmente ácido clorhídrico. Otro tipo de agente emulsivo, las sales grasas cuaternarias de amonio, se emplean para producir emulsiones catiónicas. Son sales solubles en agua, y no requieren la adición del ácido. Son agentes emulsivos estables y efectivos.

Utilizando una definición general, los agentes químicos tensio-activos son sustancias solubles en agua.

El agente emulsivo es, de los componentes individuales de la emulsión asfáltica, el más importante. Para ser un agente emulsivo eficaz, el surfactante debe ser soluble en agua y poseer un adecuado equilibrio entre las propiedades hidrofílicas y lipofílicas. (Fig. 7)

El agente emulsivo, empleado en combinación con un asfalto aceptable, agua de buena calidad y adecuados procedimientos mecánicos, es el factor principal la emulsificación, la estabilidad de la emulsión y en la performance de la aplicación final en el camino [8].



Fig. 7 Fase oleosa o fase lipófila [9]

2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS

- **Emulsiones de rompimiento rápido**

Estas tienen poca o ninguna capacidad para mezclarse con agregados, se emplean normalmente para riegos de sello, sellos de arena y tratamientos superficiales en general; para reaccionar rápidamente con el agregado y revertir al estado del asfalto.

- **Emulsiones de rompimiento medio**

Estas son designadas para ser mezcladas con agregados porque no rompen al instante de entrar en contacto con el agregado. Esta cualidad permite que la mezcla sea manejable por un periodo de tiempo determinado. Trabajan de manera adecuada con pétreos de E.A. (Especificación Alta) >75% y finos <5%. Se utilizan para mezclas in-situ, mezclas con plantas estabilizadoras y estabilización in-situ. Sobre mezclas de gradación abierta con fines de bacheo, renivelaciones y reciclados.

- **Emulsiones de rompimiento lento**

Se diseñan para mezclarse con agregados finos, se utilizan comúnmente para carpetas asfálticas en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas. Designadas para máxima estabilidad de mezclado. Estas emulsiones tienen tiempos más largos de manejabilidad para garantizar un buen mezclado con materiales densamente gruesos. Dan buenos resultados con agregados de E.A. (Especificación Alta) > 60% y finos de 5 a 12%.

Estas se utilizan principalmente para mezclas de gradación densa, mezclas de arena y reciclados. Todas las emulsiones de rompimiento lento tienen baja viscosidad la cual todavía puede ser disminuida diluyendo la emulsión con agua. Cuando estas emulsiones son diluidas pueden ser utilizadas para riegos de liga, riegos negros y paliativos de polvo.

- **De Impregnación**

Estas emulsiones particularmente se utilizan para impregnaciones de subbases y/o bases hidráulicas.

- **Superestables**

Estas se emplean principalmente en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación. Son un caso particular de las lentas y trabajan bien con pétreos E.A. (Especificación Alta) < 60% y finos mayor a 12%. Se utilizan en general para las mismas aplicaciones que las emulsiones lentas, además de Slurry Seal (mortero asfáltico).

Según el contenido de asfalto en la emulsión, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se muestra en la siguiente Tabla 1.[7][10]

Tabla 1. Clasificación de las Emulsiones Asfálticas

Clasificación	Contenido de asfalto (% de masa)	Tipo de Rompimiento	Polaridad
EAR-55	55	Rápido	Aniónica
EAR-60	60	Rápido	Aniónica
EAM-60	60	Medio	Aniónica
EAM-65	65	Medio	Aniónica
EAL-55	55	Lento	Aniónica
EAL-60	60	Lento	Aniónica
EAI-60	60	Para Impregnación	Aniónica
ECR-60	60	Rápido	Catiónica
ECR-65	65	Rápido	Catiónica
ECR-70	70	Rápido	Catiónica
ECM-65	65	Medio	Catiónica
ECL-65	65	Lento	Catiónica
ECI-60	60	Para Impregnación	Catiónica
ECS-60	60	Sobre-Estabilizada	Catiónica

2.5 APLICACIONES DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS EN PAVIMENTOS

Las emulsiones se aplican de la siguiente manera:

- **Riegos de Imprimación**

Se aplica sobre superficies no asfálticas que deben prepararse para recibir otro riego asfáltico.



Fig. 8 Ejecución de la imprimación

- **Riegos de Liga**

Se aplica sobre un riego de imprimación sobre capas asfálticas, su función es vincular una capa con una mezcla asfáltica.

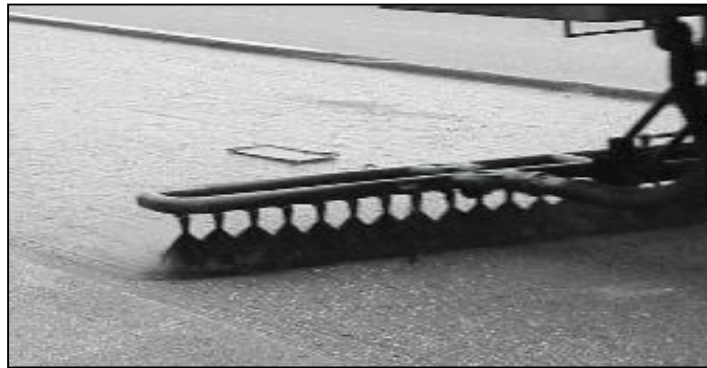


Fig. 9 Ejecución del Riego de liga

- **Riego de imprimación reforzada**

Consiste en una primera imprimación simple y una vez que ha secado se efectúa una segunda aplicación de material asfáltico.



Fig. 10 Proceso constructivo de la imprimación reforzada

- **Arena Asfalto**

Consiste en el esparcimiento y compresión de arena de una granulometría predefinida sobre una superficie imprimida. Espesores promedios de 2.5 mm.

- **Fijadores de polvo o antipolvo**

Fijan el polvo suelto evitando las molestias que estos ocasionan.

- **Riego de Sellado**

Consiste en una aplicación de material asfáltico seguido de una distribución de arena, se emplea sobre superficies asfálticas (mezclas asfálticas o suelo arena o arena emulsión).

- **Tratamientos Superficial Simple**

Consiste en una aplicación de material asfáltico seguido de una distribución de agregados pétreos.



Fig.11 Aplicación de tratamiento superficial simple

- **Tratamiento Superficial Doble**

Consiste en dos aplicaciones de material asfáltico, cada una de ellas seguida de una distribución del agregado pétreo, en general el tamaño nominal del primer agregado es el doble del segundo.



Fig. 12 Distribución para tratamiento superficial doble

- **Tratamiento Superficial Múltiple**

Consiste en tres o más aplicaciones de material asfáltico, cada una de ellas seguida de una distribución de agregado pétreo de menor tamaño.

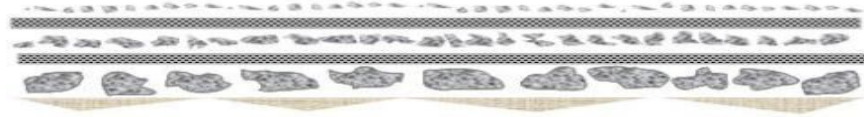


Fig. 13 Colocación de Tratamiento superficial simple

- **Slurry Seal o Lechadas**

Son mezclas constituidas por áridos finos, filler, emulsión, agua y aditivos. Espesores promedios de tres a seis milímetros. Su objetivo es de impermeabilizar, tratamiento de terminado y superficial, antideslizante.



Fig.14 Ejecución del Slurry Seal



Fig. 15 Acabado final del Slurry Seal

- **Suelos estabilizados con emulsión asfáltica**

Se define como suelo estabilizado con un producto asfáltico, la mezcla íntima, convenientemente compacta, de suelo, agua, ligante asfáltico y eventualmente adiciones, cuyo fin es mejorar las características resistentes del suelo, disminuyendo su capacidad de absorción de agua y/o aumentando su cohesión, por efecto de la incorporación de ligante [11]



Fig. 16 Estabilización con emulsión asfáltica

2.6 ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE PAVIMENTO

Para evaluar el grado de adherencia entre dos capas asfálticas se ha desarrollado fundamentalmente el ensayo de corte.

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 de investigación.

2.6.1 Ensayo de Corte Superpave Shear Test

EL ensayo de Superpave de corte SST, es muy complicado de llevar a cabo y muy costoso, no tiene mucha aceptación, debido a los modelos que utiliza para la predicción del comportamiento o funcionamiento.

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)” (Fig.17). 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.



Fig. 17 Equipo de Corte Superpave Shear Test

2.6.2 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" (Fig.18). 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 [6].



Fig. 18 Equipo de Corte Swiss Standard

2.6.3 Ensayo Leutner Shear Test

El Leutner test se desarrolló en Alemania a finales de 1970 como un medio sencillo de llevar a cabo una shear test directo sobre el vínculo entre dos capas de asfalto. La prueba se realiza en 150 mm de diámetro de los núcleos que comprenden al menos dos capas tomadas ya sea de un pavimento o fabricado en el laboratorio.

El principio de la prueba consiste en aplicar una velocidad de cizallamiento de desplazamiento constante a través de la interfaz de objeto de investigación y supervisar la fuerza de corte resultante. La fuerza normal se aplica a la muestra cilíndrica. Una velocidad de cizallamiento de desplazamiento estándar de 50 mm / min se utiliza para que Marshall y dispositivos de CBR de carga pueden ser utilizados. (Fig.19). Cabe señalar que, aunque el Leutner Shear Test disposición tiene la ventaja de la simplicidad (en comparación con las pruebas de cizallamiento tipo caja) también sufre de tensiones no uniformes de interfaz de cizallamiento [12].

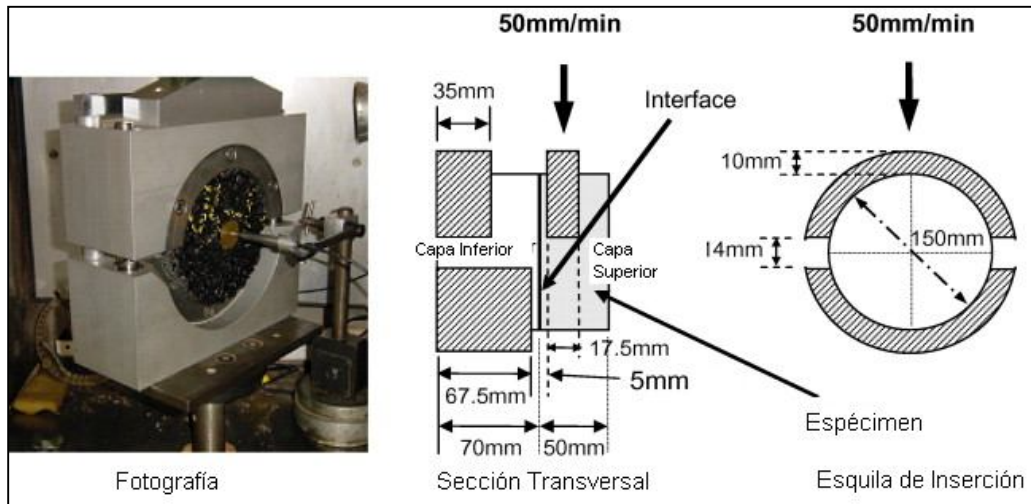


Fig. 19 Equipo de Corte Leutner

2.6.4 Ensayo de Corte LCB

El ensayo de corte LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona) [5], 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.

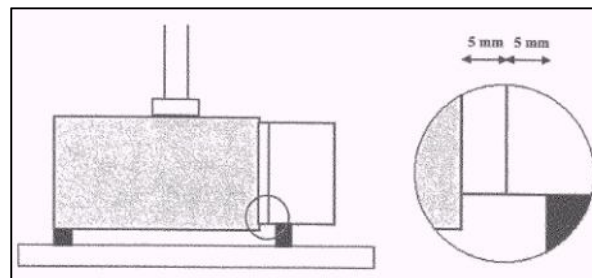


Fig. 20 Ensayo de Corte LCB

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

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

Donde:

t: Tensión tangencial sobre la junta.

P: Carga aplicada.

S: superficie de la sección transversal de la probeta.

Pero para esta investigación de trabajo no fue necesario obtener estos datos ya que solo se necesita obtener la adherencia entre capas asfálticas.

2.6.4.1 Proceso de ejecución para el Ensayo de Corte LCB

PASO 1. Para la ejecución del ensayo se lleva a cabo colocando las probetas o testigos sobre una base con dos puntos de apoyo separados 20 cm, (Fig.21).

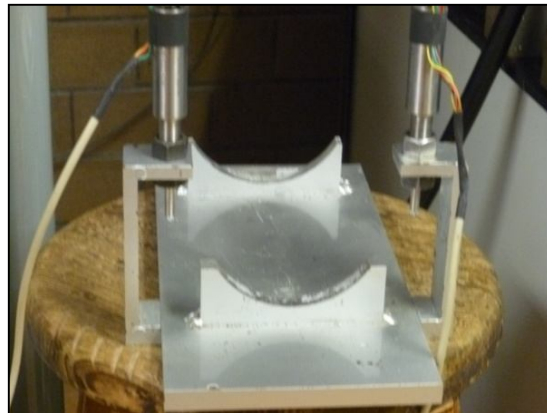


Fig. 21 Base para el ensayo de probetas y testigos, con dos puntos de apoyo

PASO 2. El proceso de ensayo se aplica sobre testigos obtenidos de laboratorio. Las probetas, que como mínimo estarán formadas por dos capas, se introducen en una mordaza cilíndrica (Fig.21), la cuál mediante una serie de tuercas, permite confinarlos en la posición requerida, de forma análoga a las probetas en los moldes.

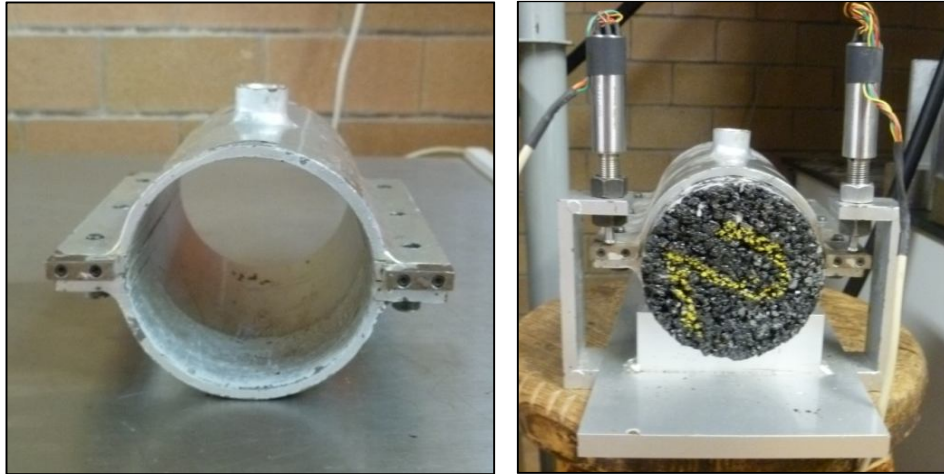


Fig. 22 Mordazas para el ensayo de probetas

PASO 3. Después se coloca la mordaza junto con la probeta, debajo del pistón de la prensa, aplicando una carga a velocidad de deformación constante de 1.27 mm/min. Como se presenta a continuación.



Fig. 23 Probeta lista para ensayar

PASO 4. Los resultados, 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

Para esta investigación solo se necesitó registrar la resistencia máxima a cortante para saber qué tanta adherencia hay a diferentes emulsiones.



Fig. 24 Prueba de ensayo de corte LCB

PASO 5. En la siguiente figura se muestra claramente el desplazamiento entre una capa abierta y una capa cerrada con alguna de las emulsiones que se usaron, ECS 60-90 (R 60.50%).



Fig. 25 Probeta con ensayo de corte LCB

Estas son algunas imágenes que se tomaron durante el trabajo de investigación, en el laboratorio de Vías Terrestres del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

CAPÍTULO 3
TRABAJO EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUCCIÓN

Para la realización de esta tesis ha sido necesaria la ejecución de ensayos en el Laboratorio de Vías Terrestres del Instituto de Ingeniería UNAM. Todos los trabajos han sido realizados bajo las normas de la SCT.

En este capítulo se explican los trabajos efectuados, los materiales y los procedimientos utilizados para la elaboración de placas asfálticas y la realización de ensayos utilizados para el ensayo de corte LCB.

3.2 MATERIALES CONSIDERADOS

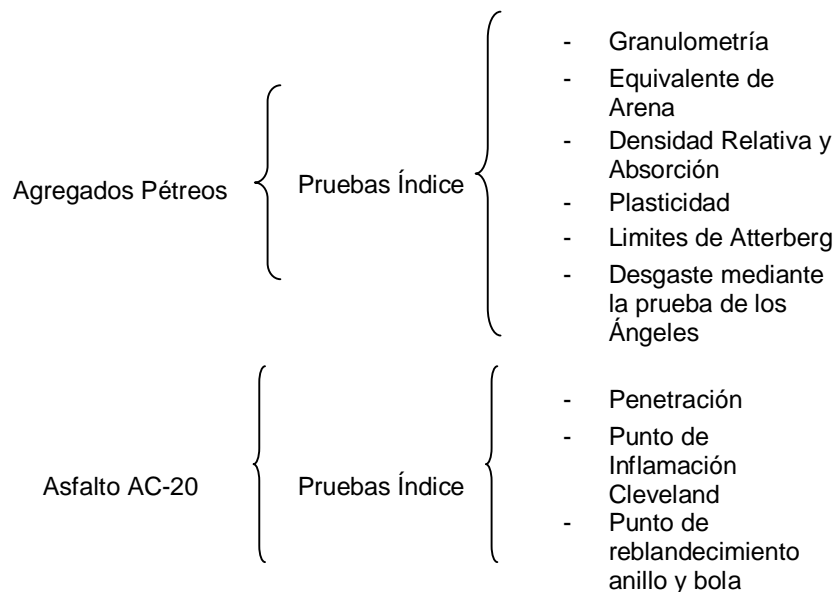
El agregado mineral que se empleó para esta investigación es Basalto procedente de la planta Tribasa, del cual obtendremos todas las pruebas de calidad necesarias del agregado.

El asfalto traído para la fabricación de placas asfáltica densa y abierta se empleo un AC-20 convencional de la planta de Tula, Hidalgo.

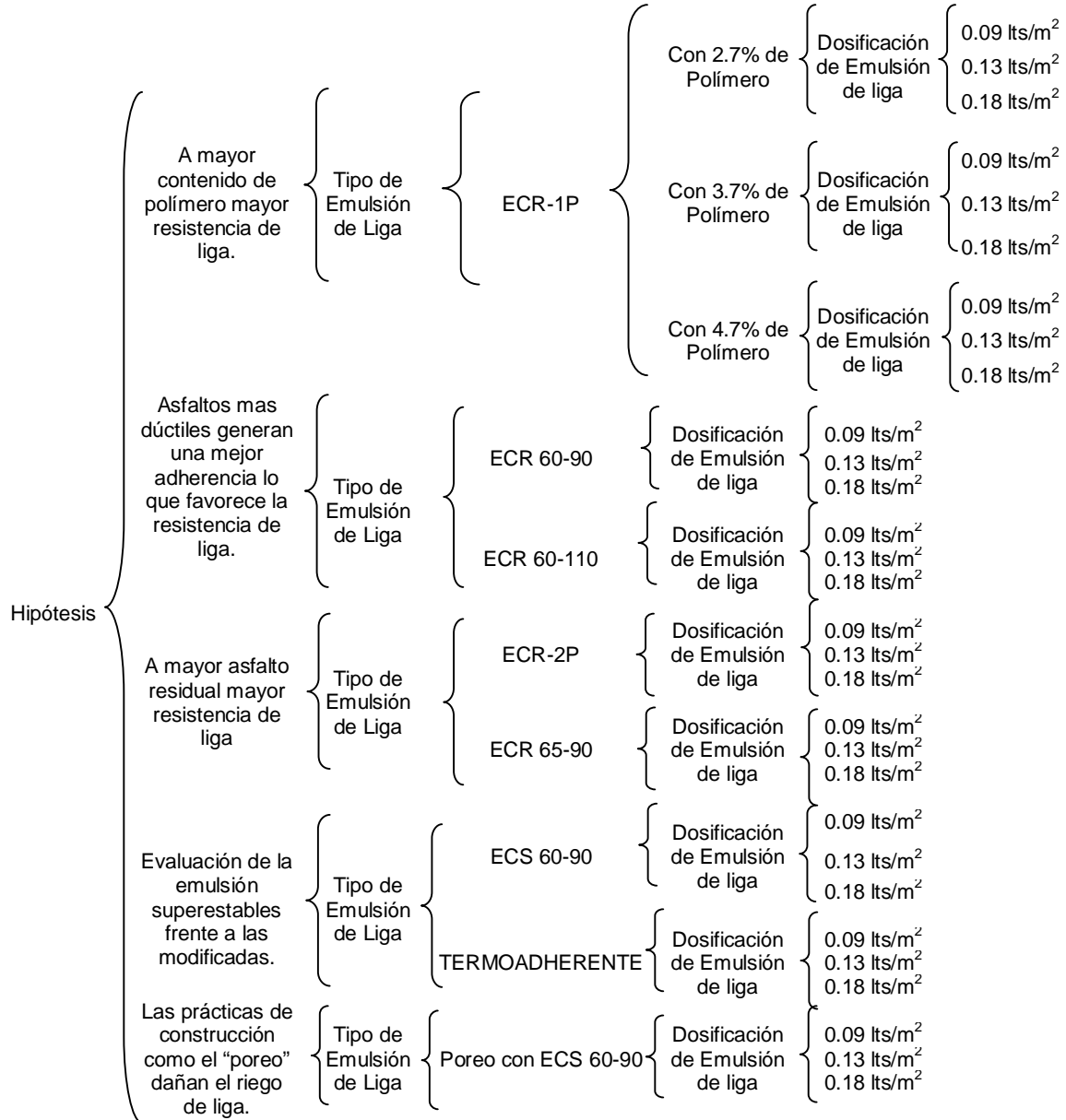
Las emulsiones que se tomaron para realizar pruebas de caracterización se condicionaron las siguientes (**ECR-1P, ECR 60-90, ECR60-110, ECR-2P, ECR65-90, ECS60-90 y Termoadherente**).

De estas emulsiones se aplicaron tres porciones de contenido de liga o emulsión 0.09, 0.13 y 0.18lts/m² de emulsión.

3.2.1 Desarrollo para cada una de las pruebas índice



3.2.2 Desarrollo situado para las hipótesis supuestas para la Adherencia entre capas asfálticas



3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

A continuación se explica brevemente las pruebas índice para el agregado mineral y del asfalto AC-20.

3.3.1 Agregado mineral

3.3.1.1 Granulometría

Esta prueba, sirve para determinar el porcentaje en peso, de las partículas de diferentes tamaños que forman un material. Para realizar la prueba se hace uso de mallas o tamices de distintos tamaños por los que pasa el material. Se pasan las partículas que se retienen en cada una de las mallas y se encuentra el porcentaje con relación al peso seco total. Posteriormente, se calcula el porcentaje que pasa por las diferentes mallas [13].

La denominación de las mallas se hace de dos maneras; La primera se indica la separación interior que hay entre los alambres y se usa para las mallas de 3" a las de 1/4". En la segunda, se asigna un número, el cual indica la cantidad de alambres que se tienen en una 1" y se usan para las mallas del No. 4 a la No. 200.

Para hacer esta prueba se tamiza el material entre las mallas 4 a la 200. El resultado se presenta en la siguiente figura (Fig.26). Si la curva resultante es parecida a la curva 1, la granulometría es continua. Si se parece a la curva 2, se tiene una granulometría discontinua. La curva 3, indica una granulometría uniforme.

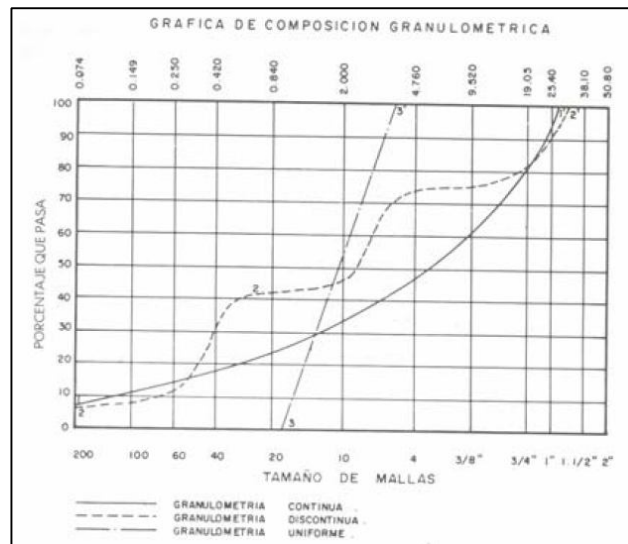


Fig. 26 Zona de Especificación Granulométrica

No siempre se busca un material que coincida con una de las tres curvas. Hay veces que se necesitan materiales con características de la curva 1 pero otras, con características de cualquiera de las otras dos [14][15].



Fig. 27 Granulometría de Agregados Finos y Guesos

3.3.1.2 Equivalente de arena

Esta prueba, sirve para conocer la presencia de materiales finos en el suelo. Al realizar esta prueba, se encuentra el porcentaje de materiales finos indeseables, principalmente de arcillas que en contacto con el agua provoca daños en el pavimento [16].



Fig. 28 Prueba de Equivalente de Arena

3.3.1.3 Densidad Relativa y Absorción

Esta prueba nos permite determinar las relaciones masa- volumen de los materiales respecto a la relación masa- volumen del agua, así como la absorción de los materiales y se utilizan para calcular los volúmenes ocupados por el material o mezcla de materiales en sus diferentes condiciones de contenido de agua y el cambio de masa del material debido a la entrada de agua en sus poros, con respecto a su condición en estado seco; las pruebas se realizan de distinta manera en la fracción del material retenida en la malla No. 4 (4.75mm) y en la porción que pasa dicha malla [13][17].



Fig. 29 Prueba de Densidad en Agregados Finos



Fig. 30 Prueba de Absorción en agregados gruesos

3.3.1.4 Plasticidad

Se define la plasticidad como la facilidad de un material a remodelarse sin cambio de volumen y teniendo un mínimo de resistencia al corte. Intervienen factores como la humedad y el peso volumétrico. Para poder determinar la plasticidad se realizan pruebas al material que pasa la malla numero 40. Las pruebas más comunes son los límites de Atterberg.



Fig. 31 Prueba de Plasticidad

3.3.1.5 Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg, corresponden a la humedad, es decir, al porcentaje de agua con respecto al peso de los sólidos, en el cual los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra.

El límite líquido es la humedad correspondiente al límite entre el estado semilíquido y plástico. El material tiene una resistencia mínima al esfuerzo cortante de 25 g/cm². Para situar el material en el límite líquido se utiliza la copa de Casagrande.

El límite plástico es la humedad correspondiente al límite entre el estado plástico y el semisólido. Para que el material alcance el límite plástico, se elaboran rollitos con un diámetro de 3mm y cuando comienzan a agrietarse significa que ya alcanzo su límite de plasticidad. El índice plástico es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico [18][19].



Fig. 32 Prueba de límite líquido por el método de Casagrande

3.3.1.6 Desgaste Mediante la Prueba de los Ángeles

Esta prueba consiste en colocar una muestra de material con características granulométricas específicas dentro de un cilindro giratorio, en donde es sometida al impacto de esferas de acero durante un tiempo determinado, midiendo la variación granulométrica de la muestra como la diferencia entre la masa que pasa la malla No. 12 (1.7 mm de abertura), antes y después de haber sido sometida a este tratamiento. Con esto se calcula el porcentaje de desgaste [20].



Fig. 33 Desgaste mediante la prueba de los Ángeles

3.3.1.7 Resumen

A continuación se darán a conocer los resultados del agregado mineral, conforme a la norma de la SCT.

Tabla 2. Granulometría determinada para una mezcla densa de acuerdo a la SCT

Tamaño del tamiz	Huso inf. a 1"	Huso sup.a 1"	Pasa (%)	Retenido (%)	Peso en gramos
1 1/2"	100	100	100	0	0
1"	100	100	100	0	0
3/4"	100	100	100	0	0
1/2"	90	100	96	4	44
3/8"	76	90	90	6	66
1/4"	56	69	60	30	330
4	45	59	45	15	165
8	29	39	29	16	176
16	18	26	20	9	99
30	12	18	14	6	66
50	9	14	10	4	44
100	5	10	7	3	33
200	2	6	6	1	11
Filler				6	66
				100	1100

Tabla 3. Granulometría determinada para una mezcla abierta de acuerdo a la SCT

Tamaño del tamiz	Huso inf. a 1"	Huso sup.a 1"	Pasa (%)	Retenido (%)	Peso en gramos
1 1/2"	100	100	100	0	0
1"	100	100	100	0	0
3/4"	100	100	100	0	0
1/2"	65	100	80	20	220
3/8"	48	72	60	20	220
1/4"	30	52	40	20	220
4	18	38	28	12	132
8	5	19	11	17	187
200	2	4	3	8	88
Filler				3	33
				100	1100

Tabla 4. Requisitos para Agregados de Calidad

Características	Unidades	Valores de Laboratorio	Valores de SCT	Norma SCT
Equivalente de Arena	%	70	50, mínimo	M-MMP-1-05/03
Densidad Relativa y Absorción	%	2.6	2.4 mínimo	M-MMP-1-05/03
Limites de consistencia	%	LL= 18 W= 18 IP= 13	-	M-MMP-1-07/07
Desgaste Los Ángeles	%	18	35, máximo	N-CMT-4-04-006/02

3.3.2 Asfalto

3.3.2.1 Penetración

Se realiza en cementos asfálticos con un penetrómetro que pesa 200 g. y en el extremo inferior tiene una aguja. El material asfáltico debe estar en una capsula a una temperatura de 25°C. Se pone en contacto la aguja con el material y después de 5 segundos se revisa la penetración de la aguja. Esta prueba consiste en determinar la consistencia de los materiales de asfalto de naturaleza sólida o semisólida utilizados en la construcción de carreteras [21].



Fig. 34 Prueba de Penetración

3.3.2.2 Punto de Inflamación Cleveland en cementos Asfálticos

Esta prueba permite determinar la temperatura mínima a la que el asfalto produce flamas instantáneas al estar en contacto con el fuego directo. Consiste en colocar una muestra de asfalto en una copa abierta de Cleveland (la copa de Cleveland es de latón, bronce o acero inoxidable, así como se muestra en la Fig. 35), en donde se incrementa paulatinamente su temperatura hasta lograr que al pasar una flama por la superficie de la muestra se produzcan en ella flamas instantáneas, la temperatura correspondiente se denomina punto de inflamación [22].



Fig. 35 Prueba de Punto de Inflamación

3.3.2.3 Punto de reblandecimiento anillo y bola

Esta prueba se realiza por que el asfalto no tiene una temperatura de fusión fija y definida, por lo que cuando se calienta van pasando gradualmente desde una consistencia quebradiza o muy pastosa a otra mas blanda y fluida Esta prueba consiste en colocar en una probeta de material asfalto AC-20, en forma de disco y sobre la que se apoya una bola de acero, se calienta en condiciones determinadas en un baño de agua, hasta que deformada por el calor, toca una placa de referencia situada a 25 mm por debajo de la probeta. A ello se le denomina punto de reblandecimiento anillo y bola, la temperatura en grados Celcius, se tomara al instante en el que se produce el contacto entre la masa de asfalto y la placa de referencia, esa es la temperatura en la que ocurre el punto de reblandecimiento anillo y bola [23].



Fig. 36 Prueba de Reblandecimiento Anillo y Bola

3.3.2.4 Resumen

A continuación se darán a conocer los resultados de asfalto AC-20, conforme a la norma.

Tabla 5. Requisitos de calidad para Asfalto AC-20

Características	Unidades	Valores de Laboratorio	Valores de SCT	Norma
Penetración a 25 °C	mm	74	60, mínimo	NLT-124/99
Punto de reblandecimiento anillo y bola	°C	54	48-56	NLT-125/99
Punto de Inflamación Cleveland	°C	228	232, mínimo	M-MMP-4-05-007/00

3.3.3 Emulsiones asfálticas

3.3.3.1 Viscosidad Saybolt 25°C y 50°C

La medida de la viscosidad de una emulsión es la consistencia o la resistencia para fluir. Esta prueba tiene por objeto determinar la viscosidad Saybolt- Furol de las emulsiones asfálticas a las temperaturas de 25°C y 50°C, establecidas para realizar la prueba estándar [24].



Fig. 37 Equipo para prueba Saybolt

3.3.3.2 Asentamiento

La prueba de asentamiento sirve para saber si las emulsiones son estables. Para realizar esta prueba, se necesitan 500g de emulsión en una probeta que se tapa herméticamente y se deja reposar durante 5 días. Al término de los 5 días con una pipeta se extraen 50g y por evaporación se calcula el porcentaje de cemento asfáltico. Se tiran 400g de muestra y con los últimos 50g se realiza el mismo procedimiento que con los primeros 50g. La diferencia de los contenidos de asfalto de la parte inferior y superior de la probeta es el asentamiento. [25].



Fig. 38 Prueba de Asentamiento

3.3.3.3 Retenido en malla No. 20

Esta prueba determina cuantitativamente el contenido de asfalto presente en forma de glóbulos relativamente grandes y que pueden obstruir el espesor y la uniformidad de la película de asfalto sobre las partículas del agregado pétreo, además de que el tamaño de los glóbulos indica una buena o mala estabilidad de la emulsión para permanecer en ese estado. Los glóbulos grandes indican que la emulsión va a tener una tendencia a sedimentarse y por lo tanto, esto puede causar su rompimiento [26].



Fig. 39 Prueba de Retenido en malla No. 20

3.3.3.4 Miscibilidad con cemento Portland

Esta prueba permite estimar la estabilidad de las emulsiones asfálticas de rompimiento lento al mezclarse con un material fino. [27]



Fig. 40 Prueba de miscibilidad con cemento Portland

3.3.3.5 Carga de partícula

Para saber si las emulsiones son aniónicas o catiónicas. Se realizan dos pruebas diferentes, en la primera se utiliza papel tornasol, en la segunda se hace pasar una corriente eléctrica por la emulsión por medio de un potenciómetro. [28]

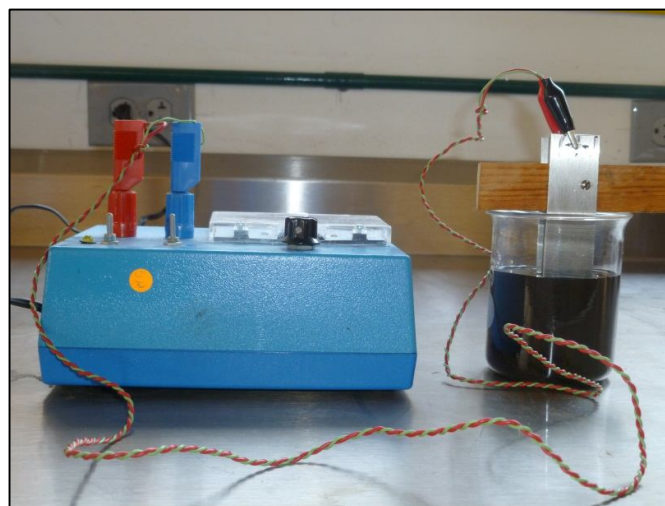


Fig. 41 Prueba de Carga de Partícula

3.3.3.6 Contenido de agua

Esta prueba tiene por objeto determinar las proporciones de agua y de residuo asfáltico contenidas en la emulsión; el residuo de la destilación puede utilizarse para efectuar las pruebas de Penetración, Ductilidad y Solubilidad en tetracloruro de carbono. [29]

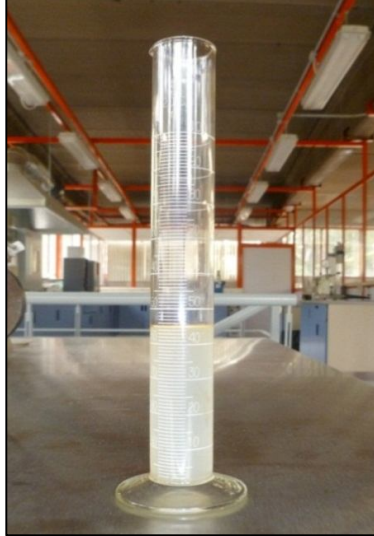


Fig. 42 Prueba de contenido de agua

3.3.3.7 Residuo de destilación

Para poder realizar esta prueba se coloca el material en un recipiente que se conecta a un refrigerante. El recipiente se calienta y los materiales más volátiles se evaporan. Al pasar por el refrigerante se condensan y se dirigen a una probeta. Debe tener un termómetro para ver la temperatura al caer la primera gota, y luego se conoce el volumen que ha caído mediante determinadas temperaturas, con esto se conoce el tipo de rebajado. [7][29]



Fig. 43 Prueba de Destilación

3.3.3.8 Resumen

Tabla 6. Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas catiónicas

Características de Emulsión	Contenido de cemento asfáltico en masa; %, mínimo		Viscosidad Saybolt- Furol a 25°C; s, mínima		Viscosidad Saybolt- Furol a 50°C; s, mínima		Asentamiento en 5 días diferencia en %		Retenido en malla No. 20 en la prueba de tamiz; %, máx.		Carga eléctrica de las partículas		Contenido de agua	Residuo de Destilación	Prueba de miscibilidad
	Norma SCT	Valores de Lab.	Norma SCT	Valores de Lab.	Norma SCT	Valores de Lab.	Norma SCT	Valores de Lab.	Norma SCT	Valores de Lab.	Norma SCT	Valores de Lab.	Valores de Lab.	Valores de Lab.	Valores de Lab.
ECR-1P	65	71.75	-	-	40	117	5	0.82	0.1	0.594	(+)	(+)	28	28	0.61
ECR-1P	65	66.78	-	*	40	44	5	0.13	0.1	0.0378	(+)	(+)	33	33	0.042
ECR-1P	66	66.64	-	-	40	32	5	0.27	0.1	0.0148	(+)	(+)	33	33	0.020
ECR 60-90	60	60	-	-	5	25	5	0.55	0.1	0.12	(+)	(+)	38	38	0.15
ECR 60-110	60	61.92	-	-	5	28	5	0.25	0.1	0.089	(+)	(+)	39	39	0.095
ECR-2P	67	65	-	-	50	56	3	0.95	0.1	0.012	(+)	(+)	33	33	0.030
ECR 65-90	65	65	-	-	40	117	5	4.98	0.1	1.58	(+)	(+)	33	33	1.60
ECS 60-90	60	61.7	25	98	-	-	5	4.58	0.1	0.63	(+)	(+)	39	39	0.72
Termoadherente	50	52.1	5	10	40	30	5	3.08	0.1	0.05	(+)	(+)	48	48	0.11

3.4 MÉTODO MARSHALL

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación, también usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2.5in) de espesor por 103mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.



Fig. 44 Método Marshall

3.4.1 Preparación de las muestras de ensayo para una mezcla densa y abierta

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo esta determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final.

La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

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



Fig. 45 Equipo de trabajo colocado a una temperatura de 150 °C ($^{\circ}$ C), listo para mezclar

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



Fig. 46 Molde listo para compactar

- 3) Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (son 75) para una mezcla cerrada y (50 golpes) para una mezcla abierta. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 75 golpes recibe, realmente un total de 150 golpes (mezcla densa) y una de 50 golpes recibe, realmente un total de 100 golpes. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.



Fig. 47 Probetas listas para ser extraídas de los moldes

3.4.2 Determinación del contenido de asfalto para una mezcla densa y abierta

El contenido de diseño de asfalto en la mezcla final de pavimentación se determina a partir de los resultados de la relación de vacíos-densidad, y de la prueba de estabilidad-flujo. Primero se determina el contenido de asfalto para el cual el contenido de vacíos sea de 5% para una mezcla densa y 10% para una mezcla abierta. Luego, se evalúan todas las propiedades calculadas y medidas para este contenido de asfalto, y comparadas con los criterios de diseño. Si se cumplen todos los criterios, es el contenido de diseño de asfalto. Si no se cumplen todos los criterios será necesario hacer algunos ajustes a volver a diseñar la mezcla [30].

3.4.2.1 Mezcla asfáltica densa

Para obtener el porcentaje óptimo de una mezcla densa se elaboraron pastillas con un porcentaje de asfalto de 6.0%, 6.25% y con un 6.5%, ya no se elaboraron mas pastillas ya que si se aumentaba el porcentaje estaba muy sobrada y si se realizaba con un porcentaje menor faltaría por cubrir el agregado, esto se caracteriza de acuerdo a su aspecto físico del asfalto con respecto a los agregados.

El porcentaje que se determinó de acuerdo a los vacíos, fue de 6.25% de asfalto por el cual se empezó a mezclar las placas asfálticas.

Tabla 7. Prueba Marshall para una Mezcla Densa

Pastilla	% de Asfalto	Resistencia (kg)	Flujo (mm)
1	5.75	1170.3615	4.6961
2	5.75	926.2637	3.6901
3	5.75	1225.1513	4.5438
4	6.00	1162.9452	3.8806
5	6.00	1117.7172	4.4149
6	6.00	1249.2191	5.1913
7	6.25	989.2316	4.0629
8	6.25	1380.1147	3.8516
9	6.25	1257.6614	4.3555
10	6.50	1258.7031	4.5779
11	6.50	1096.5258	4.3894
12	6.50	1186.4066	3.8700

3.4.2.2 Mezcla asfáltica abierta

Para obtener el porcentaje óptimo de una mezcla cerrada se elaboraron pastillas con un porcentaje de asfalto de 5.0, 5.25 y con un 5.5%, de igual forma que para la mezcla densa, ya no se siguió elaborando mas pastillas ya que si se aumentaba el porcentaje estaba muy sobrada y si se realizaba con un porcentaje menor faltaría por cubrir el agregado, esto se caracteriza de acuerdo a su aspecto físico del asfalto con respecto a los agregados.

El porcentaje que se determinó de acuerdo a los vacíos mencionados anteriormente fue de 5.25% de asfalto por el cual se empezó a mezclar las placas asfálticas.

Tabla 8. Prueba Marshall para una Mezcla Abierta

Pastilla	% de Asfalto	Resistencia (kg)	Flujo (mm)
1	5.00	777.6907	5.284
2	5.00	1159.6491	6.3643
3	5.00	929.933	2.5573
4	5.25	1031.5678	5.2941
5	5.25	0	0
6	5.25	852.1949	4.7727
7	5.50	892.4321	4.8239
8	5.50	1340.8569	6.3465
9	5.50	806.9669	3.9069

3.5 PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN COMPACTADOR DINÁMICO

Una mezcla asfáltica es el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo. Las mezclas asfálticas, según el procedimiento de mezclado se clasificaran de esta manera.

3.5.1 Preparación de mezcla densa

Es mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con asfalto AC-20, elaborada con un bajo porcentaje de vacíos (fue de 5 para este caso) y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal (37.5 mm), (1 ½") y (9.5 mm) (3/8"), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos. Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes [15].



Fig. 48 Fabricación de una placa Densa

A continuación se presenta la fabricación de una placa densa y se deja en reposo con un tiempo de 24hrs.



Fig. 49 Placa de mezcla densa en reposo

3.5.2 Preparación de mezcla abierta

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos (fue de 10 para este caso), elaborada con asfalto AC-20 y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre (12.5 mm), (1/2") y (6.3 mm), (1/4"), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos.

Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. Las mezclas asfálticas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de (600 mm) por año [15][31][32].



Fig. 50 Placa de mezcla abierta en reposo

3.5.3 Dosificación de emulsión

Para la dosificación se aplicarán tres porciones de contenido de liga 0.09, 0.13 y 0.18 lts/m² de asfalto residual con el fin de saber que adherencia hay entre una capa densa y una capa abierta, si es conveniente colocar una porción menor o mayor, de manera que así, no se podrá desperdiciar la emulsión requerida, esto es de acuerdo a la norma de la SCT.

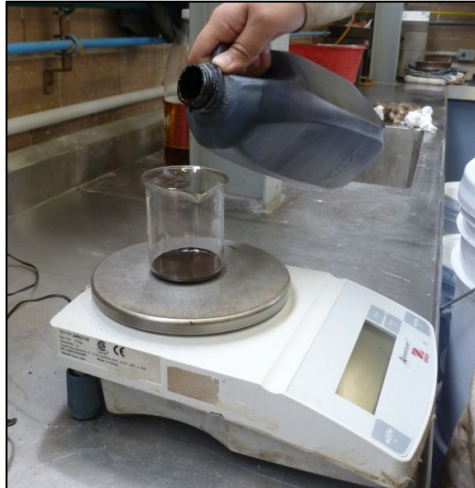


Fig. 51 Dosificación de emulsión

La aplicación del riego de liga se realizó de forma manual (una brocha) para que la porción de liga penetrara en la superficie de la placa.

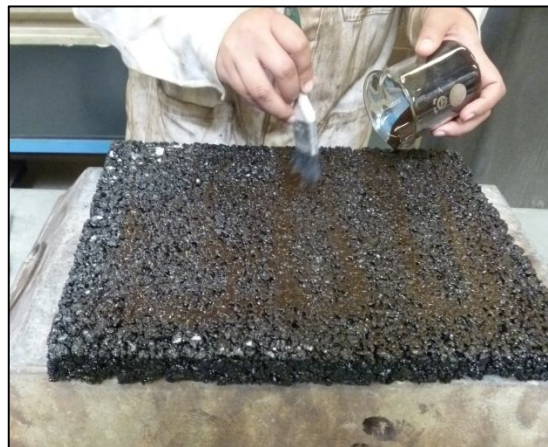


Fig. 52 Aplicación de emulsión en la placa densa

Una vez que se coloca la emulsión para la adherencia de la siguiente placa asfáltica, se deja un curado con un tiempo de 2hrs, a una temperatura de 30°C. Para después colocar la siguiente placa.

3.5.4 Aplicación de Poreo en una Placa Asfáltica

El poreo es colocación de arena que pasa por la malla $\frac{1}{4}$ ", que es distribuida sobre una capa asfáltica y es para evitar el desprendimiento de emulsión causada por el tránsito de los vehículos, para este trabajo de tesis fue para saber que daño causa el poreo entre una capa asfáltica densa y un capa asfáltica abierta.



Fig. 53 Empleo de emulsión y distribución de poreo en placa asfáltica densa



Fig. 54 Vaciado de mezcla asfáltica sobre el poreo de una placa densa

3.6 EVALUACIÓN DE ADHERENCIA ENTRE CAPAS

3.6.1 Preparación de los especímenes de prueba

Posteriormente para obtener probetas o testigos se trazaron las placas en 6 para facilitar la extracción de corazones en las placas, con ayuda de la cortadora y del extractor.



Fig. 55 Extractor de especímenes



Fig. 56 Probetas listas para ser acondicionadas a temperatura requerida

3.6.2 Condiciones de ensayos

Para realizar esta prueba se tuvieron que acondicionar las probetas a temperatura de 25°C y a 40°C para saber que adherencia tiene a ciertas temperaturas y si son recomendables, por ello se sometieron al horno antes de ensayar con la prueba de ensayo de corte LCB.



Fig. 57 Probetas acondicionadas

3.6.3 Ejecución de los ensayos de cortante

Para determinar la adherencia entre las capas de mezcla asfáltica + emulsión + mezcla asfáltica, se efectúan testigos elaborados en laboratorio para ensayarlas con la prueba LCB y determinar el esfuerzo cortante necesario para separar las dos capas que se somete a un esfuerzo cortante puro, midiéndose de forma continua tanto la carga aplicada como la deformación producida como se nota en la siguiente (Fig.56)

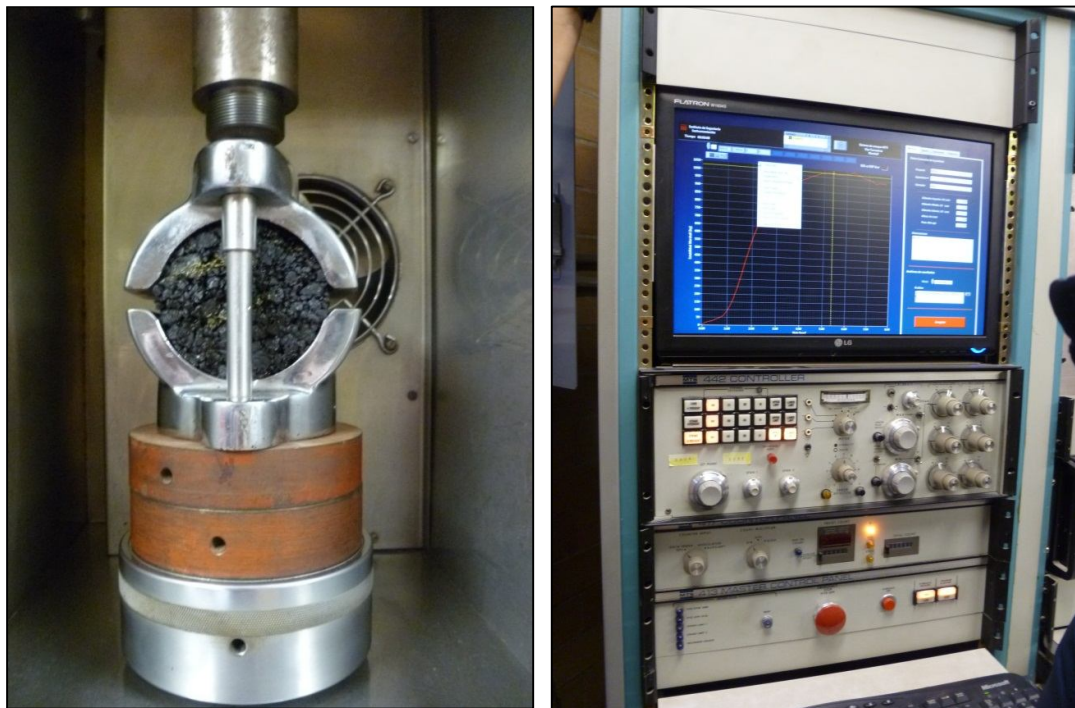


Fig. 58 Ensayo de Corte

Esta nos permite determinar el esfuerzo cortante necesario para separar las dos capas, como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas. También es posible determinar la energía de deformación, correspondiente al área delimitada bajo la curva de carga-deformación obtenida en el ensayo. El procedimiento se puede utilizar para el control de calidad de los riegos de adherencia, mediante el ensayo de testigos extraídos de las capas asfálticas.

A continuación se observa como son afectados los ensayos en la prueba de corte y no hay que perder de vista como se desplaza la carpeta abierta de la cerrada.



Fig. 59 Resultados después del ensayo de corte

CAPÍTULO 4
ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 INTRODUCCIÓN

El Trabajo de investigación muestra a continuación los resultados de la evaluación de adherencia para cada una de las emulsiones asfálticas que se emplean como material de liga entre las capas de pavimento.

Se obtuvo el valor máximo para cada caso y finalmente se revisó la adherencia en cada ensayo. Para obtener la adherencia se descartaron aquellos valores que no son representativos o comparables con los demás. Se utilizaron una serie de evaluaciones para aceptar o no un resultado:

- Primero se evaluaron las probetas con cierto acondicionamiento de temperatura (25°C y 40°C).
- Luego se evaluó la curva de ensayo de corte y se descartó el resultado más alejado del promedio.
- Por último se analizó que tanta adherencia existe en cada una de las emulsiones requeridas con sus respectivas dosificaciones (0.09, 0.13 y 0.18 lts/m²) y si cumple con las hipótesis mencionadas.

Igualmente se obtuvieron gráficas donde se pudo apreciar el comportamiento de cada uno de las emulsiones, lo que brinda un análisis más completo para poder seleccionar la emulsión adecuada de acuerdo a la hipótesis que se determinó. La mayor o menor susceptibilidad térmica de una emulsión hizo que se obtuviera mayor o menor adherencia entre capas.

A continuación se presentan tablas y gráficas de estado donde se muestra la adherencia del acondicionamiento de cierta temperatura y de cada dosificación ya mencionada para cada emulsión.

4.2 A MAYOR CONTENIDO DE POLÍMERO EN LA EMULSIÓN MAYOR RESISTENCIA DE LA LIGA.

4.2.1 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C

Tabla 9. Resultados de adherencia de un ECR-1P a temperatura de 25°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
1	ECR-1P	65.75	2.7	0.09	500.35	1.26
				0.13	557.66	1.35
				0.18	448.53	1.20
		65.60	3.7	0.09	372.49	1.02
				0.13	411.88	1.09
				0.18	326.78	0.93
		66.00	4.7	0.09	684.03	1.54
				0.13	730.56	1.62
				0.18	635.45	1.44

En la Tabla 9, se muestran valores arrojados del ensayo de LCB, con la emulsión ECR-1P a diferentes porcentajes de Polímero y a diferentes dosificaciones de emulsión. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 25°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Asimismo se indica la adherencia que se tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

4.2.2 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C

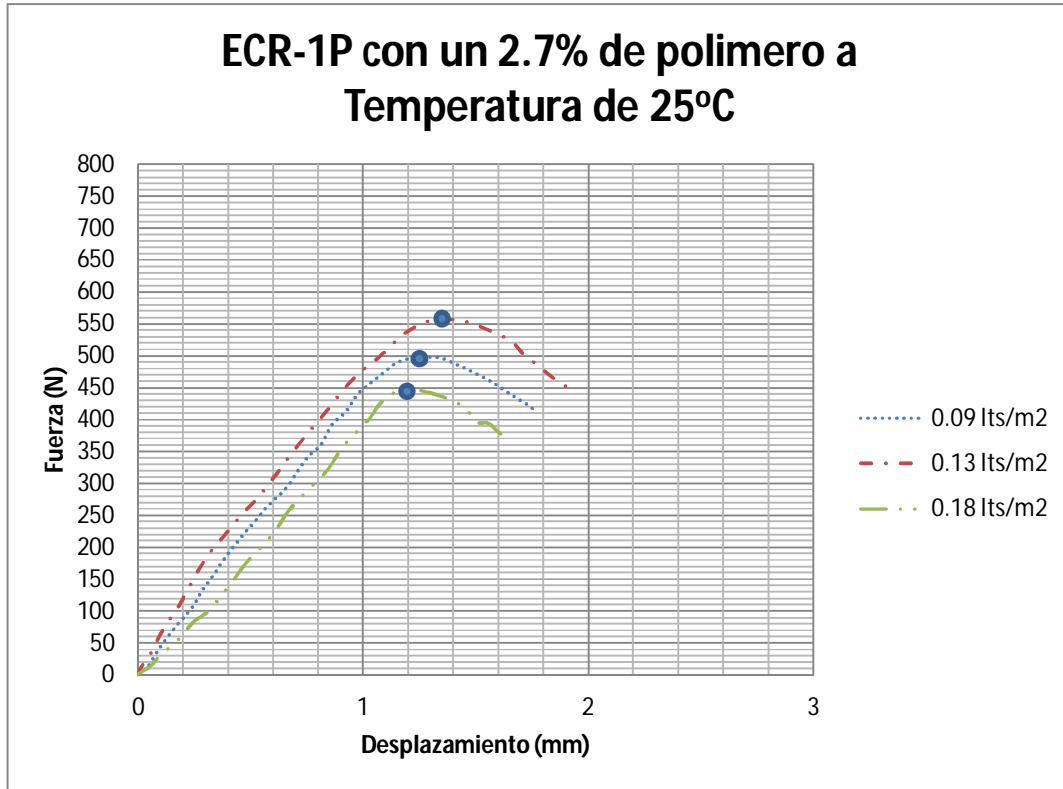


Fig. 60 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 2.7% de Polímero

De la Fig. 60, se establecen dosificaciones que se implantaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue la de 0.13 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor o menor ya que no es tan provechoso.

Por otra parte para un 2.7% de polímero de la emulsión ECR-1P, se tiene una adherencia que se esperaba de acuerdo al porcentaje de residuo asfáltico que es un poco mayor que la de 3.7% de polímero.

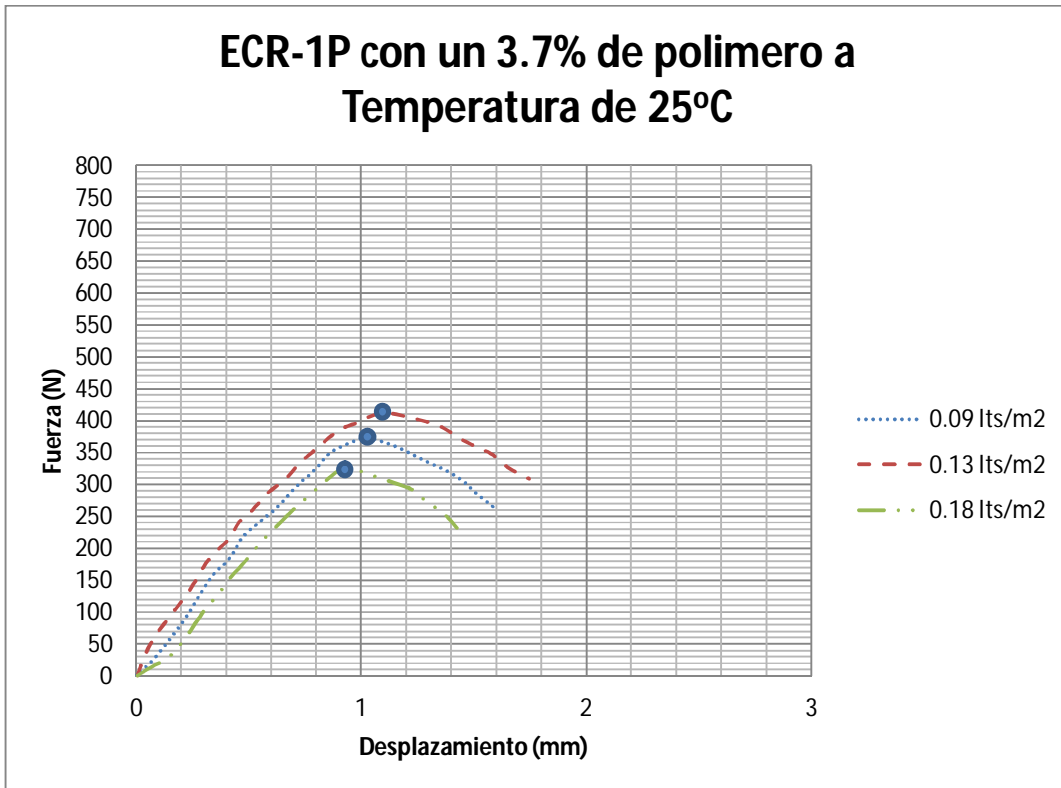


Fig. 61 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 3.7% de Polímero

De manera similar, la Fig. 61 se establecen dosificaciones que se implantaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.13 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor o menor ya que no es tan provechoso.

Por lo siguiente el 3.7% de polímero de la emulsión ECR-1P, tiene una adherencia que se prevé de acuerdo al porcentaje de residuo que es un poco menor que la de 2.7% de polímero.

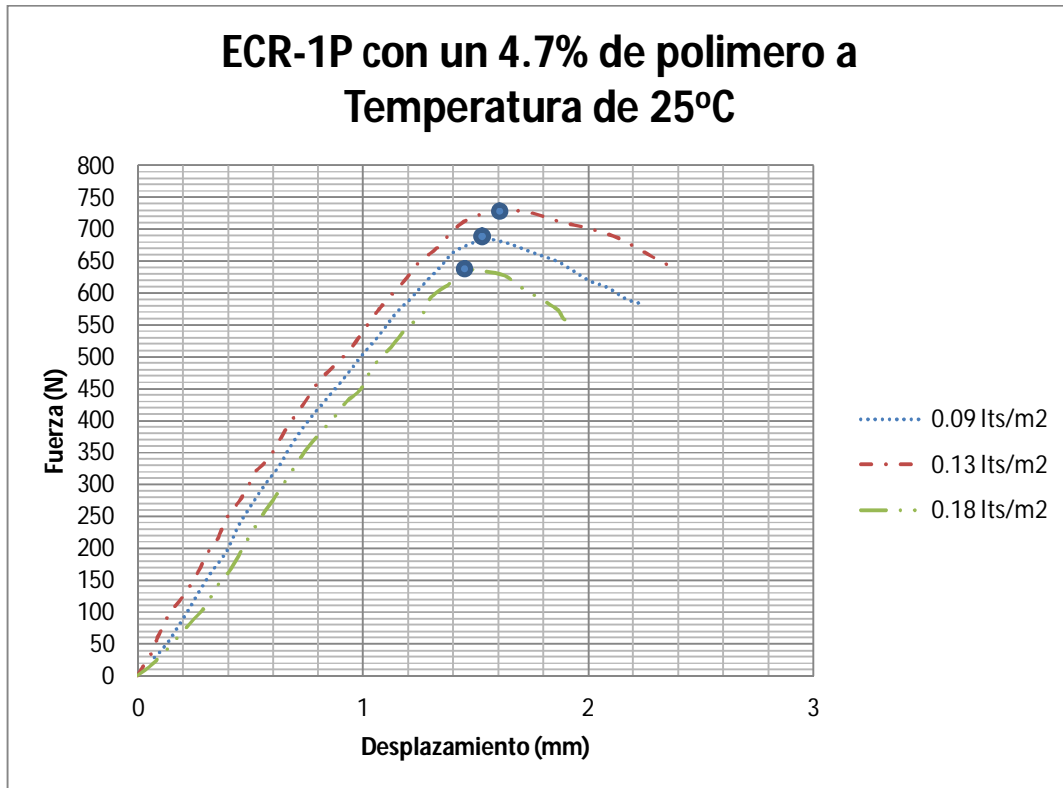


Fig. 62 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 4.7% de Polímero

De igual manera, la Fig. 62 se establecen las dosificaciones que se implantaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.13 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor o menor ya que no es tan provechoso.

Por otra parte para un 4.7% de polímero de la emulsión ECR-1P, tiene una adherencia que se prevé de acuerdo al porcentaje de residuo que es mayor que los porcentajes anteriores.

Los puntos que son colocados en la parte superior de cada curva son los puntos máximos de adherencia (Para la Fig. 60,61 y 62).

4.2.3 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C

Tabla 10. Resultados de adherencia de un ECR-1P a temperatura de 40°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
1	ECR-1P	65.75	2.7	0.09	256.84	1.80
				0.13	281.79	1.89
				0.18	233.20	1.72
		65.60	3.7	0.09	180.58	1.88
				0.13	200.19	1.99
				0.18	160.67	1.75
		66.00	4.7	0.09	319.22	2.15
				0.13	345.28	2.23
				0.18	295.77	2.07

En la Tabla 10, se muestran los valores arrojadas del ensayo de LCB, con la emulsión ECR-1P a diferentes porcentajes de Polímero y a diferentes dosificaciones de emulsión. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 40°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Del mismo modo nos indica la adherencia que se tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

4.2.4 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C

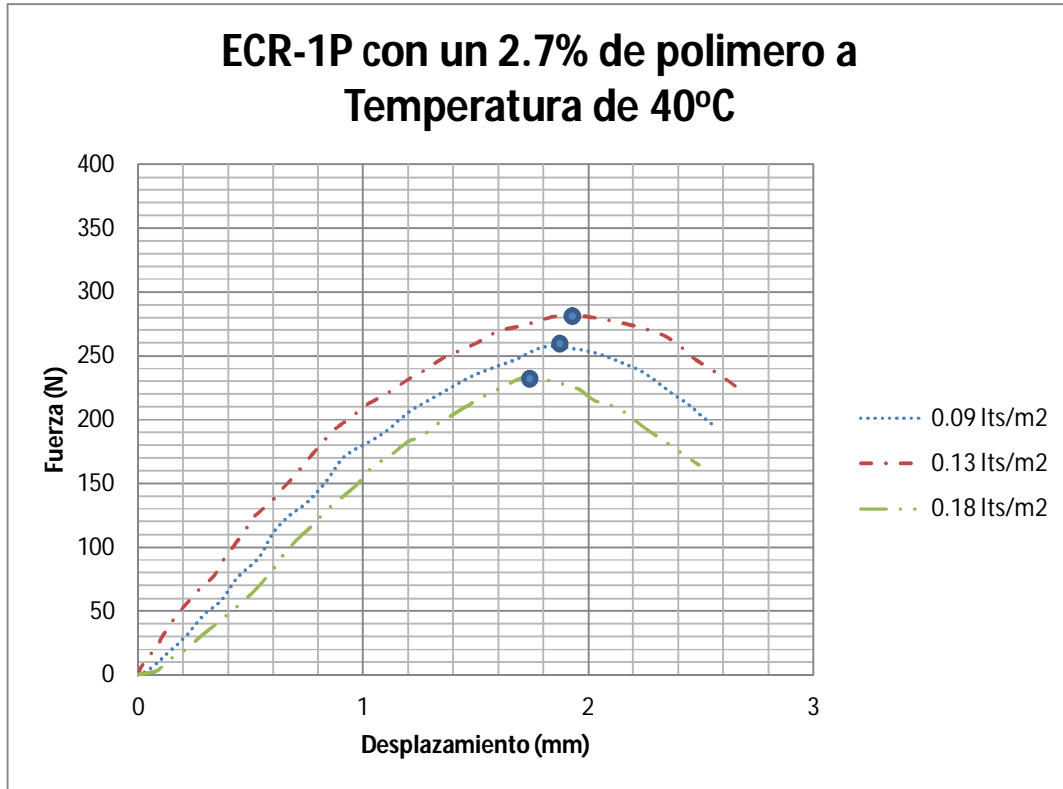


Fig. 63 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 2.7% de Polímero

De la Fig. 63, se puede establecer las dosificaciones que se implantaron de acuerdo a la norma de la SCT, la más conveniente fue de 0.13 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor o menor ya que no es tan provechoso.

Por otra parte para un 2.7% de polímero de la emulsión ECR-1P, tiene una adherencia que se esperaba de acuerdo al porcentaje de residuo asfáltico que es un poco mayor que la de 3.7% de polímero.

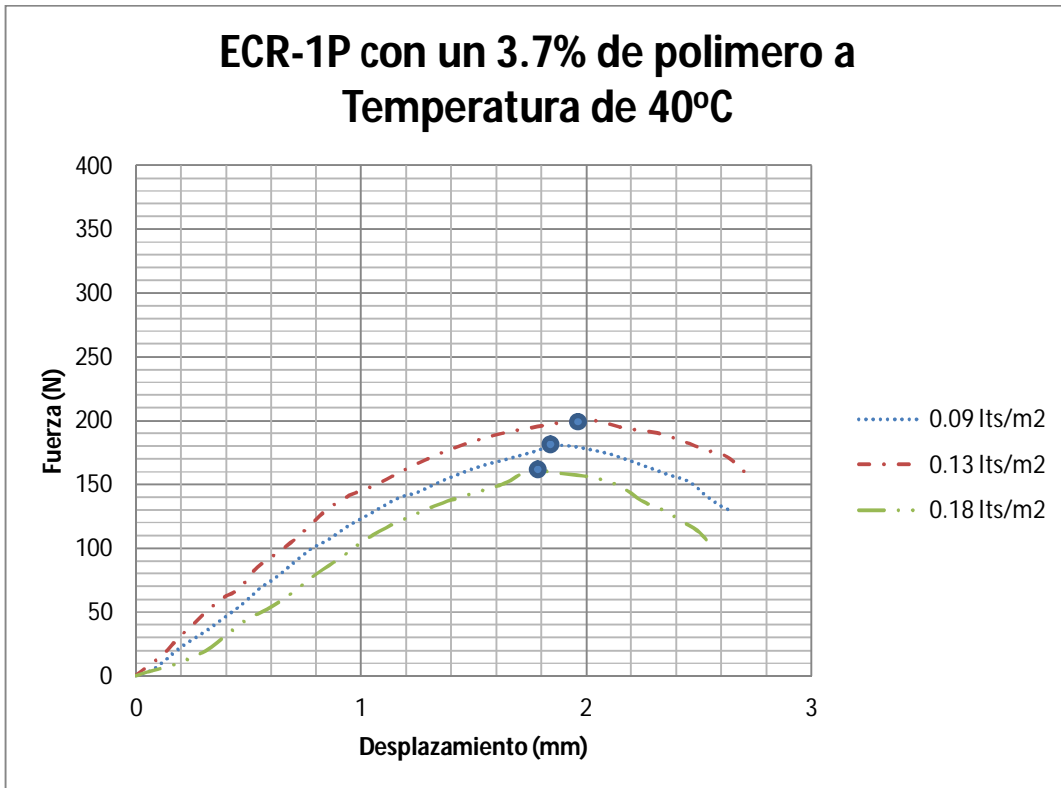


Fig. 64 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 3.7% de Polímero

De manera similar, la Fig. 64 se establecen dosificaciones que se implantaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.13 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor o menor ya que no es tan provechoso.

Por otra parte para un 3.7% de polímero de la emulsión ECR-1P, tiene una adherencia que se prevé de acuerdo al porcentaje de residuo que es un poco menor que la de 2.7% de polímero.

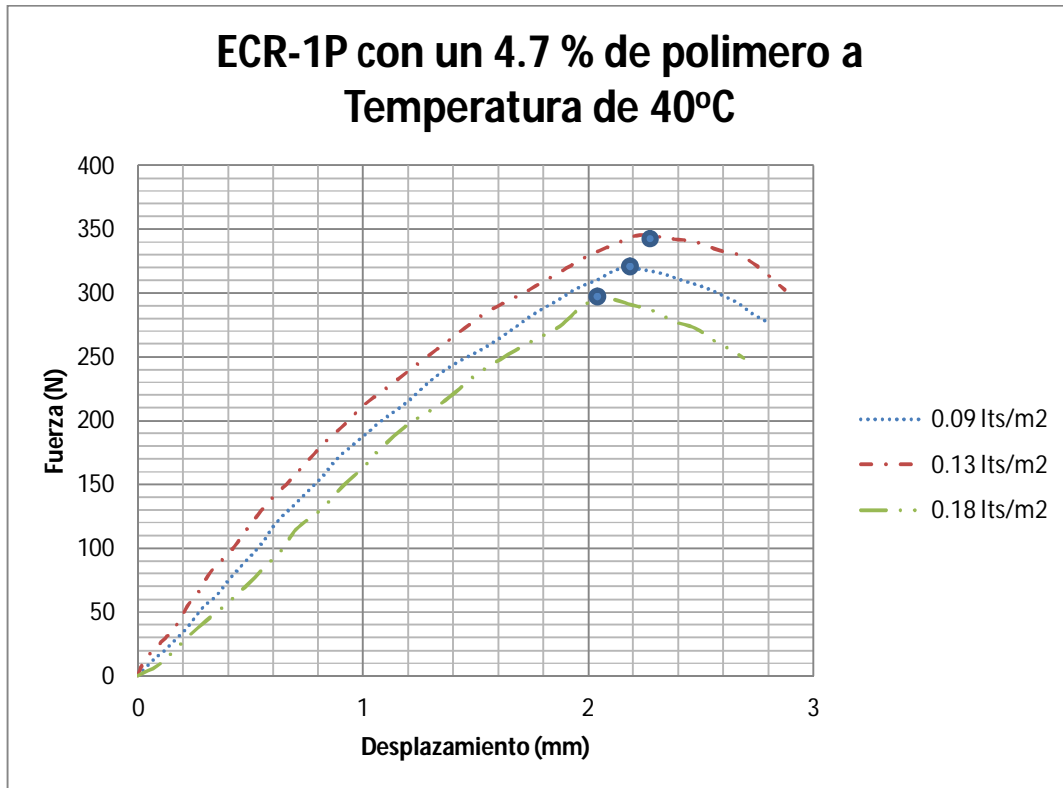


Fig. 65 Promedio Final de una Emulsión Modificada con 4.7% de Polímero

De manera similar, la Fig. 65 se establecen las dosificaciones que se implantaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.13 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor o menor ya que no es tan provechoso.

Por otra parte para un 4.7% de polímero de la emulsión ECR-1P, tiene una adherencia que se prevé de acuerdo al porcentaje de residuo que es mayor que los porcentajes anteriores.

Con respecto a las tablas y a las graficas, las temperaturas nos indican que es más adherente una emulsión modificada a temperatura de 25°C que a 40°C, su comparación fue muy evidente.

Los puntos que son colocados en la parte superior de cada curva son los puntos máximos de adherencia (Para la Fig. 63, 64 y 65) .

4.3 ASFALTOS MÁS DÚCTILES GENERAN UNA MAYOR ADHERENCIA, LO QUE FAVORECE LA RESISTENCIA DE LA LIGA

4.3.1 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C

Tabla 11. Resultados de adherencia de un ECR60-90 y ECR60-110 a temperatura de 25°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
2	ECR 60-90	60.80	*	0.09	484.03	1.18
				0.13	387.81	1.05
				0.18	532.54	1.19
	ECR 60-110	61.60	*	0.09	166.81	0.88
				0.13	236.19	0.97
				0.18	303.17	1.05

En la Tabla 11, se muestran los valores arrojados del ensayo LCB, con la emulsión ECR60-90 y ECR60-110 para saber que tan dúctil es cada una. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 25°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Aquí nos indica la adherencia que se tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

4.3.2 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C

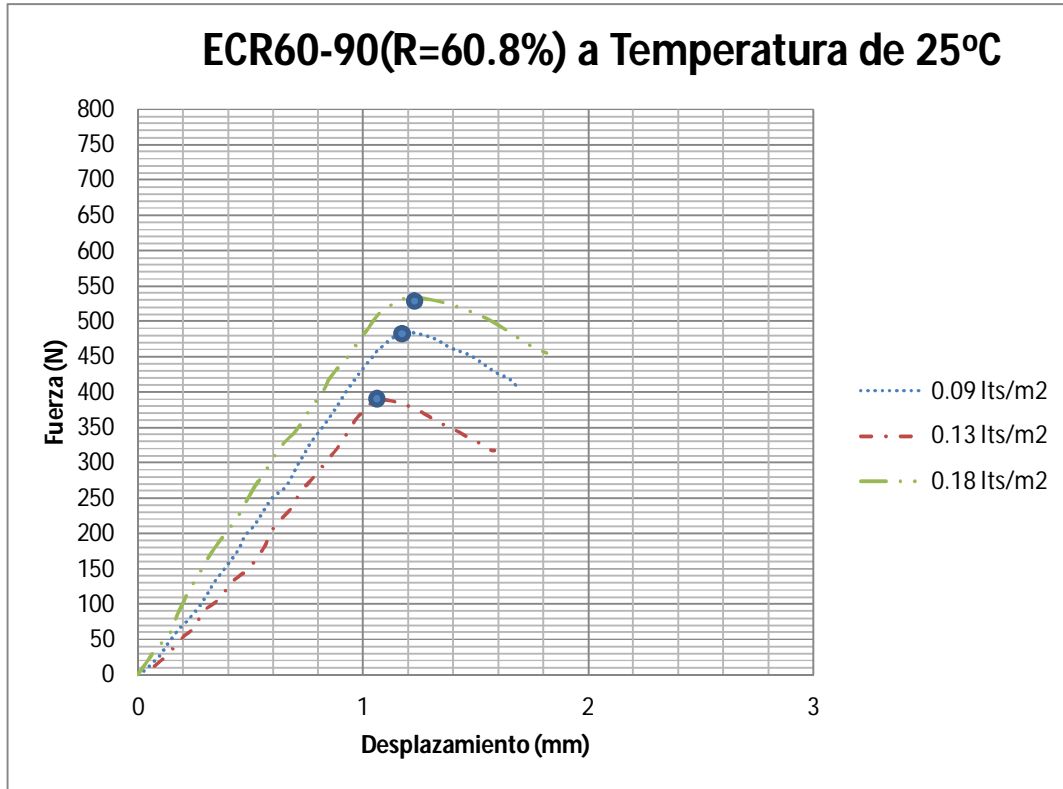


Fig. 66 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido de baja viscosidad, con baja penetración

De la Fig. 66, se pueden establecer dosificaciones que se implantaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.18 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor ya que no es tan provechoso y podemos evitar gastos innecesarios.

Por lo siguiente la emulsión ECR60-90 es más dúctil (o bien blando) y con los resultados que nos fueron arrojados nos indica que es la que mejor adherencia que tiene y que favorece en la resistencia de liga.

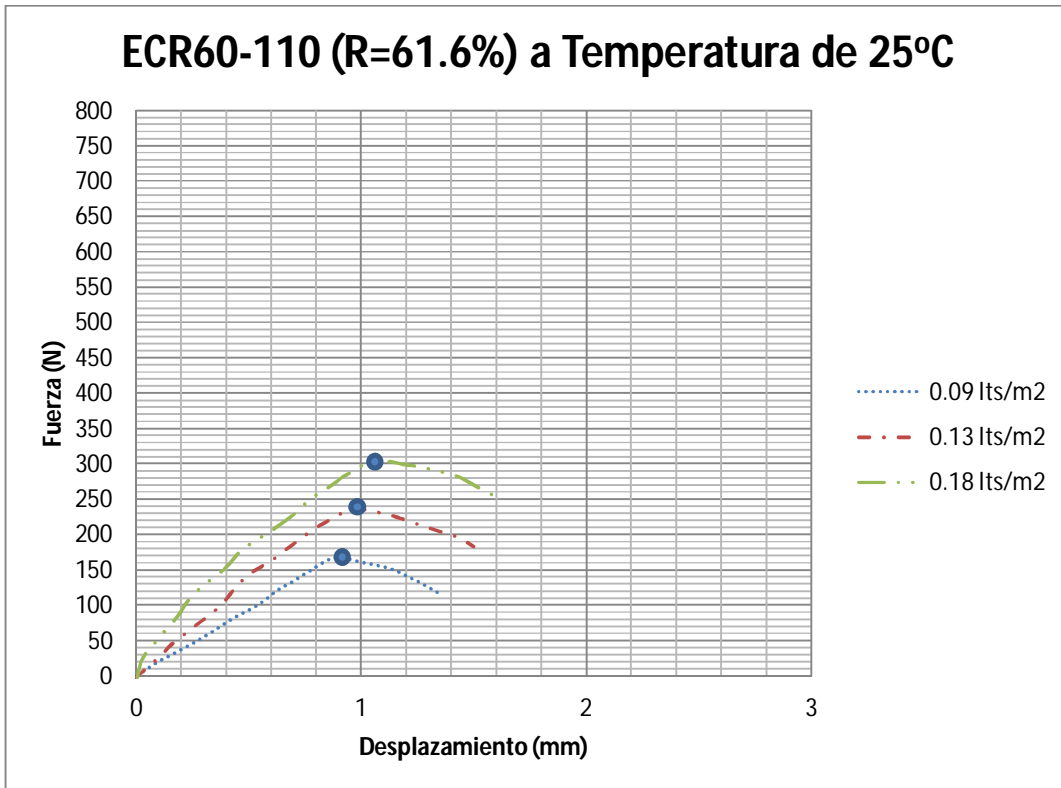


Fig. 67 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido, de baja viscosidad, con alta penetración

De la Fig. 67, se pueden establecer dosificaciones que se implantaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.18 lts1/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor ya que no es tan provechoso y podemos evitar gastos innecesarios.

Por otra parte la emulsión ECR60-110 es menos dúctil (o bien menos blando) y con los resultados que nos fueron arrojados nos indica que no se tiene la adherencia adecuada y que no nos favorece en la resistencia de liga.

Los puntos que son colocados en la parte superior de cada curva son los puntos máximos de adherencia (Para la Fig. 66 y 67).

4.3.3 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C.

Tabla 12. Resultados de adherencia de un ECR60-90 y ECR60-110 a temperatura de 40°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
2	ECR 60-90	60.80	*	0.09	250.30	1.70
				0.13	221.56	1.59
				0.18	280.84	1.87
	ECR 60-110	61.60	*	0.09	104.76	1.75
				0.13	125.00	1.84
				0.18	150.00	2.01

En la Tabla 12, se muestran los valores arrojados del ensayo LCB, con la emulsión ECR60-90 y ECR60-110 para saber que tan dúctil es cada una. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 40°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Aquí nos indica la adherencia que se tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

4.3.4 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C

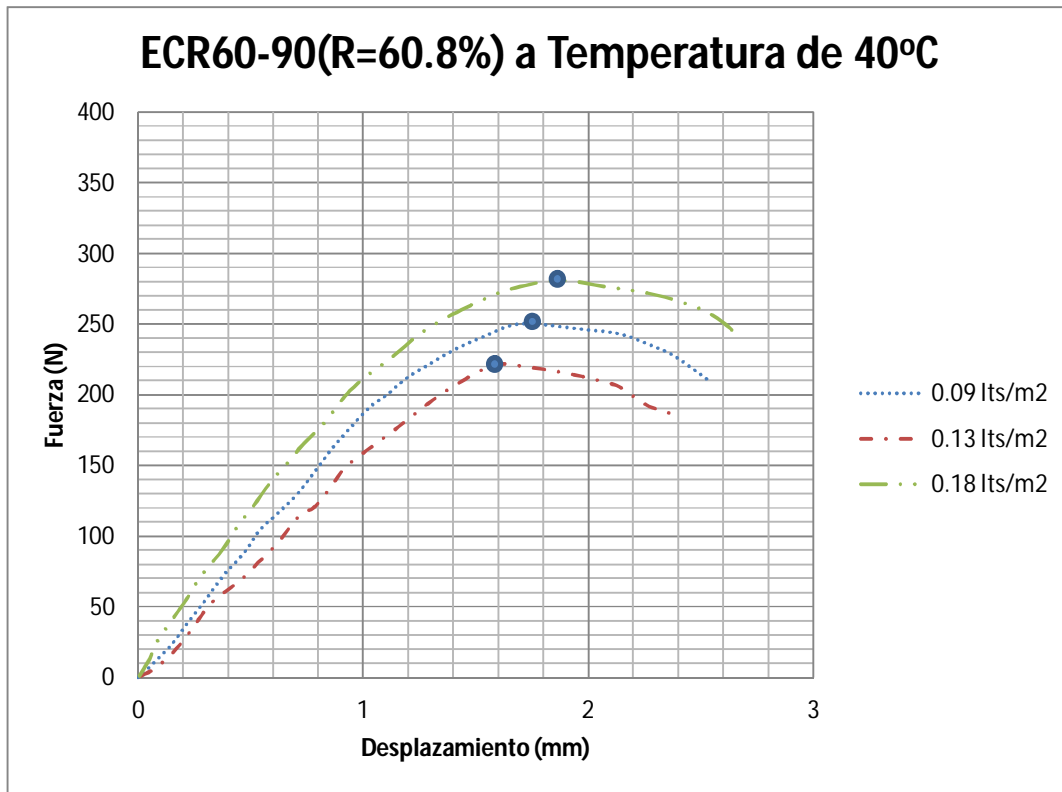


Fig. 68 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido, de baja viscosidad, con baja penetración

De la Fig. 68, se establecen dosificaciones que se implantaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.18 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor ya que no es tan conveniente y podemos evitar gastos innecesarios.

Por otra parte la emulsión ECR60-90 es más dúctil (o bien blando) y con los resultados que nos fueron arrojados nos indica que es la que mejor adherencia que se tiene y nos favorece en la resistencia de liga.

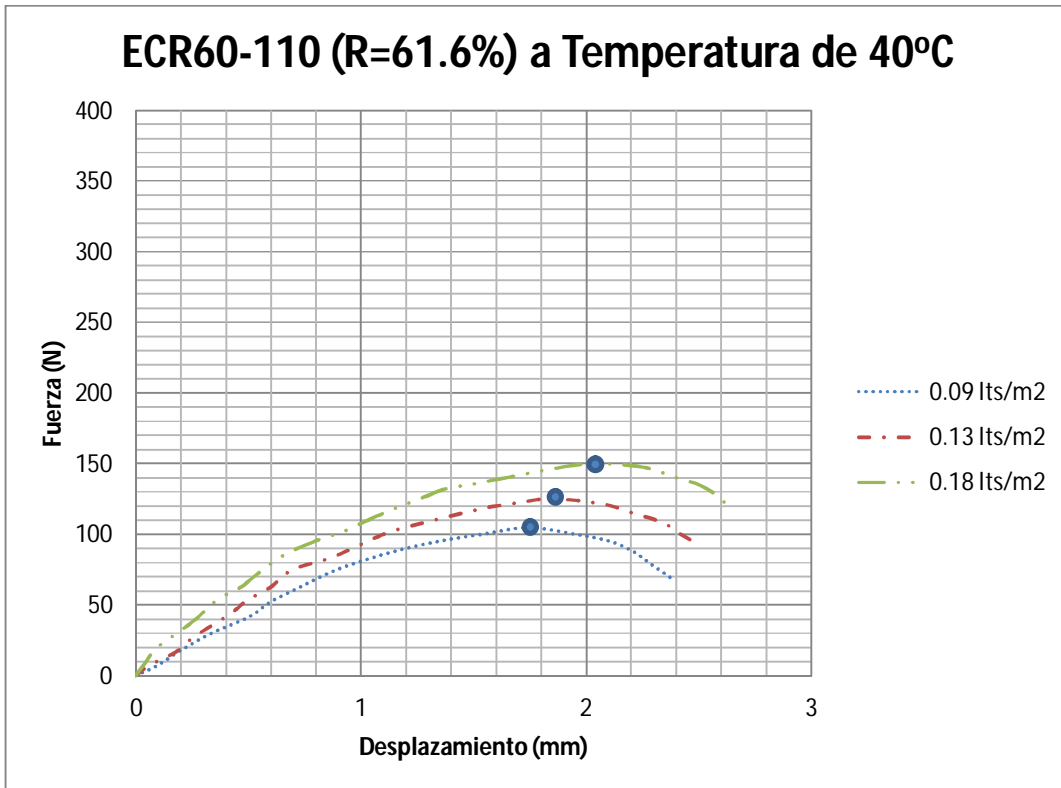


Fig. 69 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido, de baja viscosidad, con alta penetración

De la Fig. 69, se establecen dosificaciones que se formaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.18 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor ya que no es tan bueno y podemos evitar gastos innecesarios.

Por otra parte la emulsión ECR60-110 es menos dúctil (o bien menos blando) y con los resultados que nos fueron arrojados nos indica que no se tiene la adherencia adecuada y que no nos favorece en la resistencia de liga.

Con respecto a las tablas y a las graficas las temperaturas nos indica que es más adherente una emulsión modificada a temperatura de 25°C que a una de 40°C.

Los puntos que son colocados en la parte superior de cada curva son los puntos máximos de adherencia (Para la Fig. 68 y 69).

4.4 A MAYOR ASFALTO RESIDUAL MAYOR RESISTENCIA DE LA LIGA

4.4.1 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C

Tabla 13. Resultados de adherencia de un ECR-2P y ECR65-90 a temperatura de 25°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
3	ECR-2P	67.00	*	0.09	362.60	1.02
				0.13	417.91	1.25
				0.18	229.25	0.75
	ECR 65-90	66.30	*	0.09	233.89	0.87
				0.13	276.95	0.92
				0.18	200.41	0.82

En la Tabla 13, se muestran valores arrojados del ensayo LCB, con la emulsión ECR-2P y ECR65-90 para saber la resistencia de liga con respecto al asfalto residual. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 25°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Aquí nos muestra la adherencia que se tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

4.4.2 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C

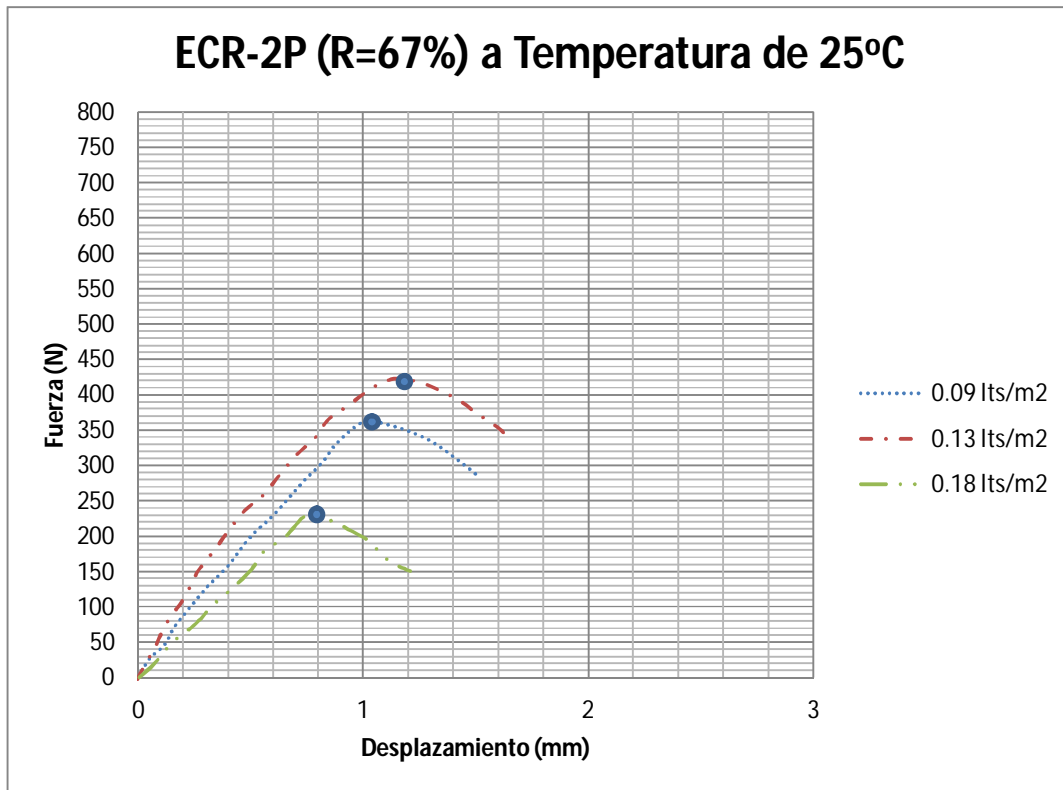


Fig. 70 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido

De la Fig. 70, se pueden establecer dosificaciones que se fundaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.13 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor o menor ya que nos evita gastos.

Por otra parte la emulsión ECR-2P nos representa una mayor resistencia de liga con respecto a la de ECR65-90 eso nos indica que es mas adherente y obtenemos una mejor resistencia de liga.

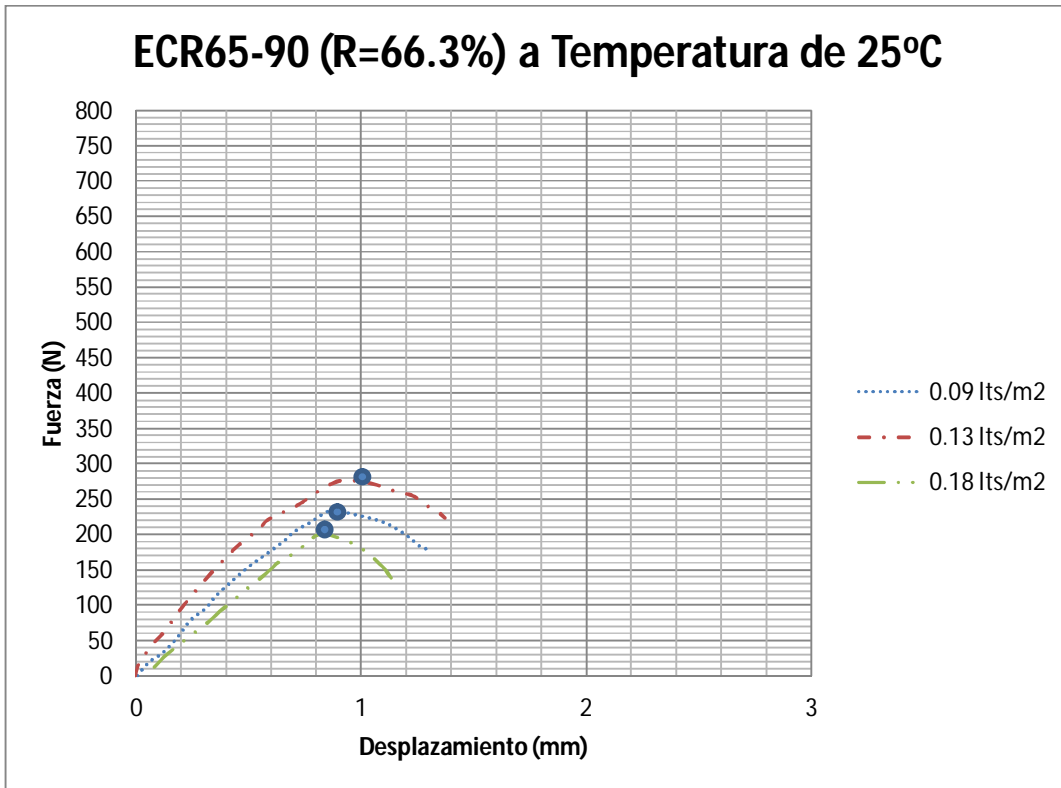


Fig. 71 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido de viscosidad intermedia, de baja penetración

De la Fig. 71, se pueden establecer dosificaciones que se establecieron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.13 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor o menor ya que nos evita gastos.

Por lo siguiente la emulsión ECR65-90 nos representa una menor resistencia de liga con respecto a la ECR-2P eso nos indica que es menos adherente y no nos proporciona mejor resistencia de liga.

Los puntos que son colocados en la parte superior de cada curva son los puntos máximos de adherencia (Para la Fig. 70 y 71).

4.4.3 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C

Tabla 14. Resultados de adherencia de un ECR-2P y ECR65-90 a temperatura de 40°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
3	ECR-2P	67.00	*	0.09	195.21	1.34
				0.13	221.56	1.50
				0.18	148.50	1.26
	ECR 65-90	66.30	*	0.09	130.35	1.27
				0.13	150.90	1.35
				0.18	105.40	1.20

En la Tabla 14, se exponen valores arrojados del ensayo LCB, con la emulsión ECR-2P y ECR65-90 para saber la resistencia de liga con respecto al asfalto residual. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 40°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Asimismo nos indica la adherencia tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

4.4.4 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C

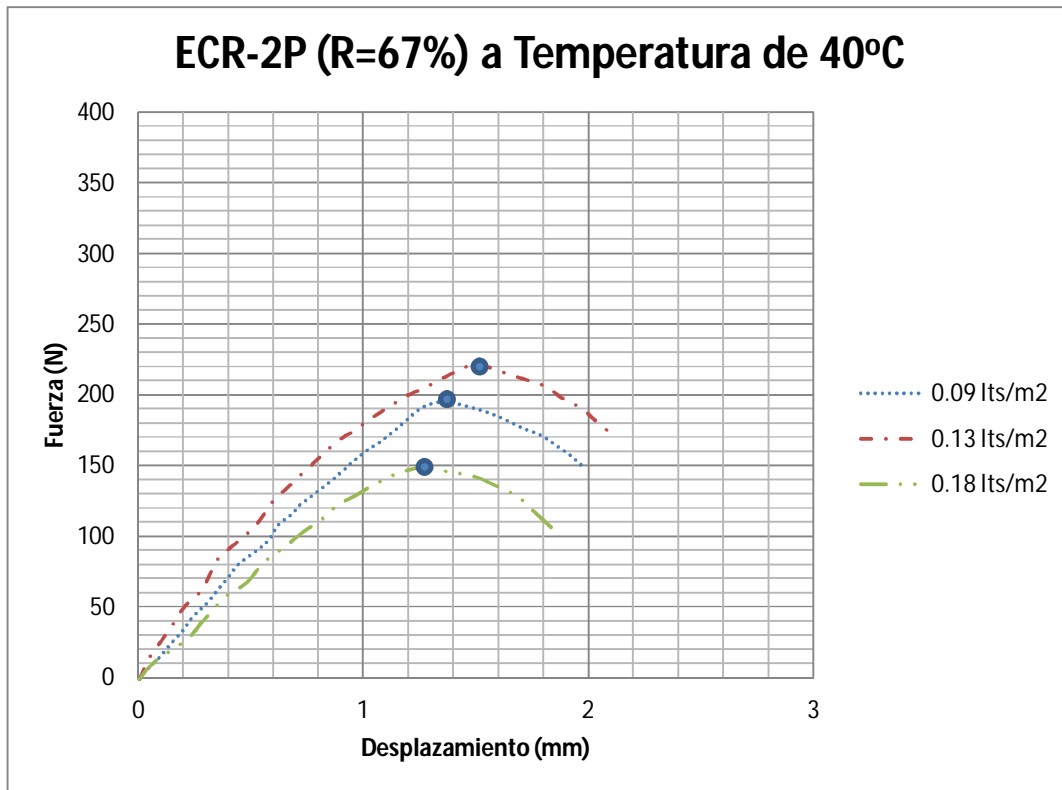


Fig. 72 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido

De la Fig. 72, se pueden establecer dosificaciones que se fundaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.13 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor o menor ya que nos evita gastos innecesarios.

Por otra parte la emulsión ECR-2P nos representa una mayor resistencia de liga con respecto a la de ECR65-90 eso nos indica que es mas adherente y obtenemos una mejor resistencia de liga.

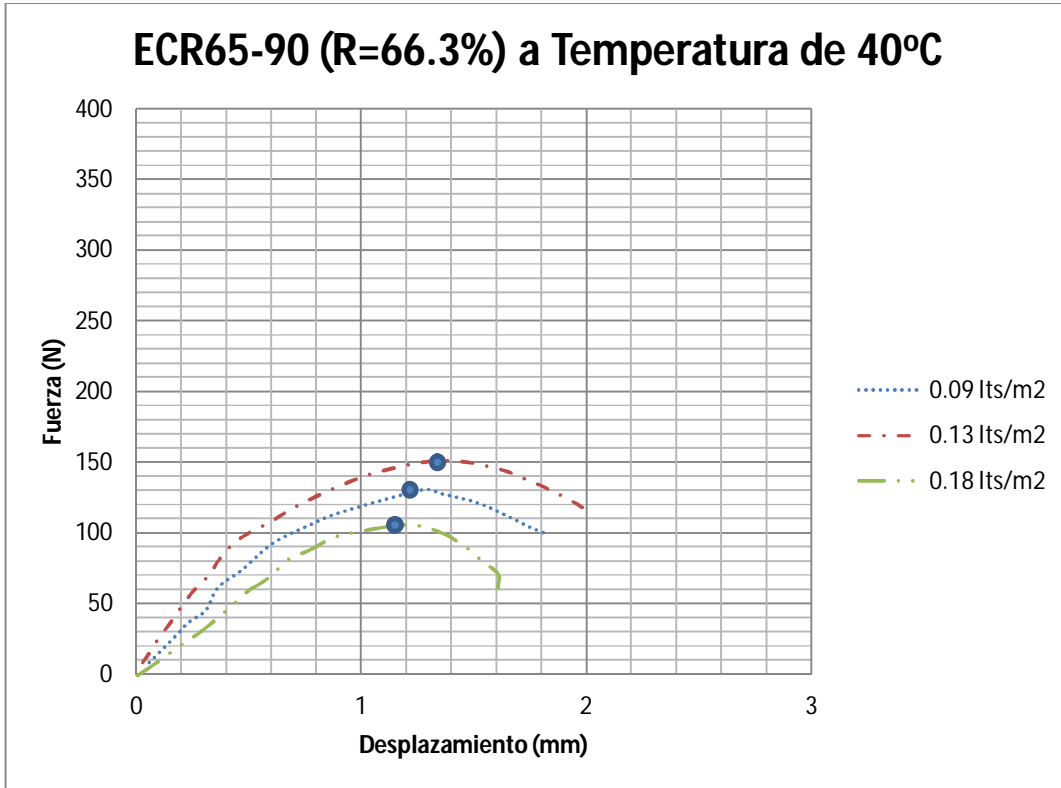


Fig. 73 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento rápido de viscosidad intermedia, de baja penetración

De la Fig. 73, se puede establecer que con la dosificaciones que se establecieron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.13 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor o menor ya que nos evita gastos innecesarios.

Por lo siguiente la emulsión ECR65-90 nos representa una menor resistencia de liga con respecto a la ECR-2P eso nos indica que es menos adherente y no nos proporciona mejor resistencia de liga.

Con respecto a las tablas y a las graficas las temperaturas nos indica que es más adherente una emulsión modificada a temperatura de 25°C que una a 40°C.

Los puntos que son colocados en la parte superior de cada curva son los puntos máximos de adherencia (Para las Fig. 72 y 73).

4.5 VALORACIÓN DE LA EMULSIÓN CONVENCIONAL SUPERESTABLE FRENTE A LAS MODIFICADAS

4.5.1 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C

Tabla 15. Resultados de adherencia de un ECS60-90 a temperatura de 25°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
4	ECS 60-90	60.50	*	0.09	269.07	1.05
				0.13	209.89	0.86
				0.18	142.87	0.83

En la Tabla 15, se exponen valores arrojados del ensayo LCB, con la emulsión ECS60-90 para saber la comparación con respecto a las modificadas. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 25°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Además nos indica la adherencia que tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

Tabla 16. Resultados de adherencia de una TERMOADHERENTE a temperatura de 25°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
5	Termoadherente	50.20	*	0.09	265.08	0.85
				0.13	212.58	0.78
				0.18	165.78	0.70

En la Tabla 16, se exponen valores arrojados del ensayo LCB, con la emulsión TERMOADHERENTE para saber la comparación con respecto a las modificadas. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 25°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas. Y también nos indica la tanta adherencia que tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

Además nos indica la adherencia que tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

4.5.2 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C

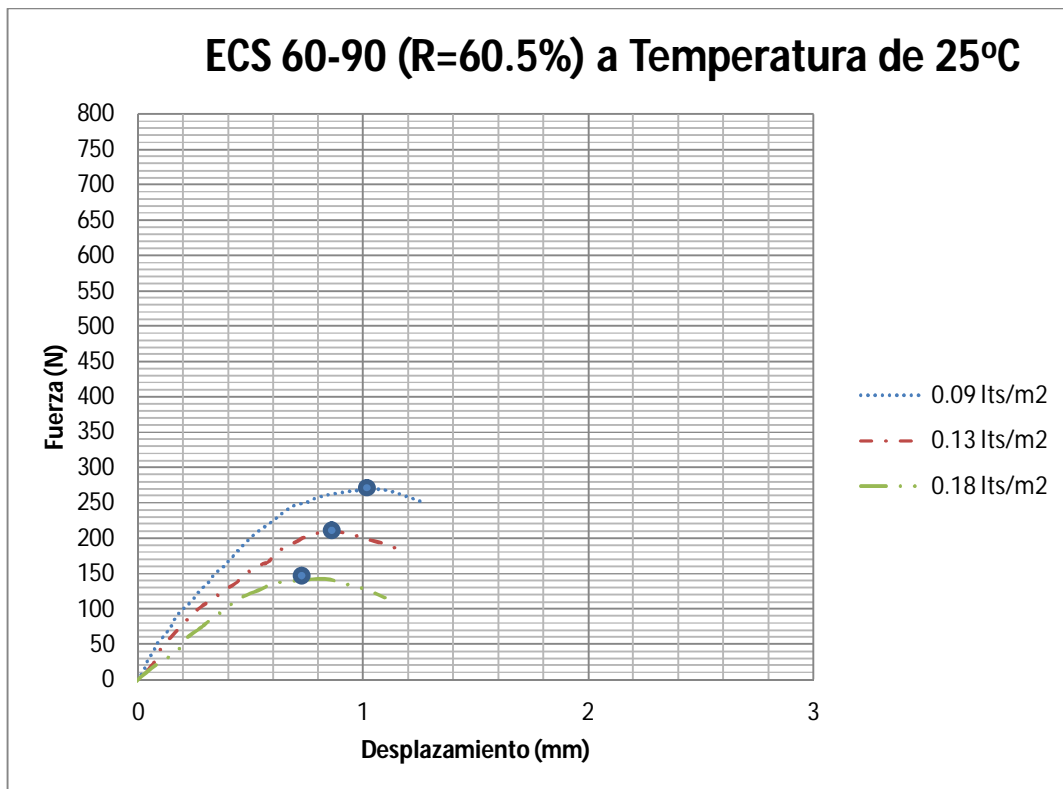


Fig. 74 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento “Superestable”

De la Fig. 74, se establecen dosificaciones que se instituyeron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.09 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor ya que nos evita gastos innecesarios.

Por otra parte la emulsión ECS60-90 nos representa una menor adherencia con respecto a las modificadas ya que eso es lo que se prevé.

Pero en cuanto a la temperatura es menos adherente a 25°C que a 40°C, pero solo es para una Superestable pero en comparación a las modificadas son mejor las modificadas.

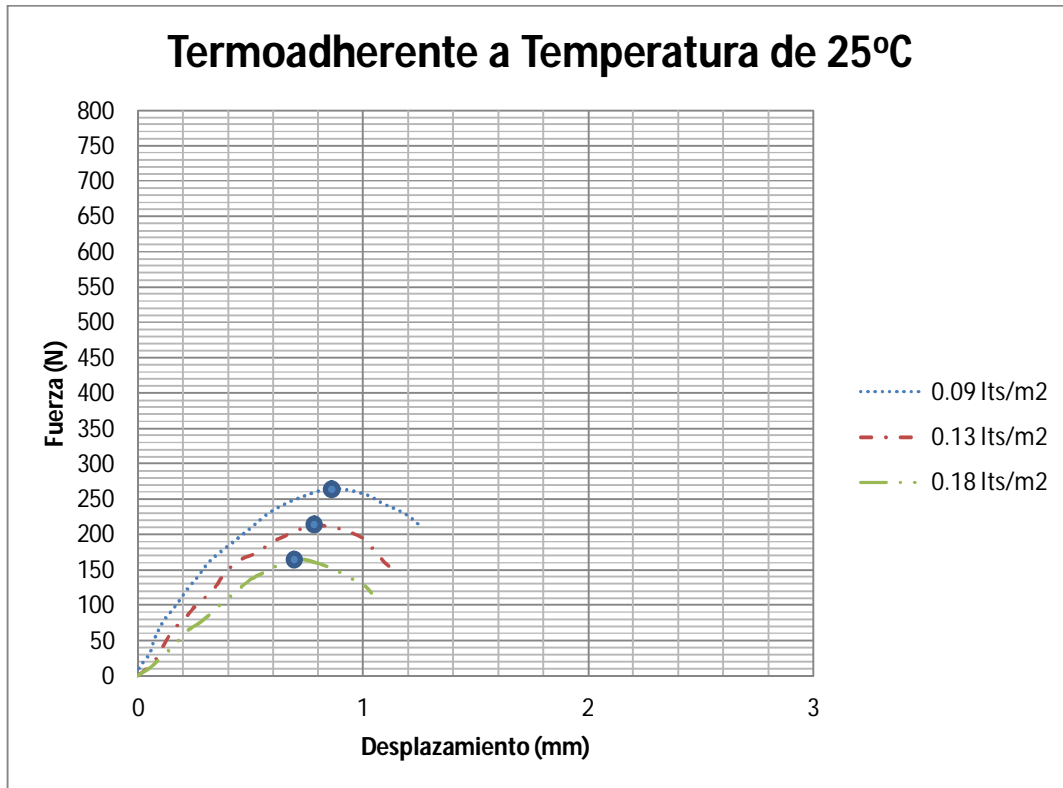


Fig. 75 Promedio Final de una Emulsión Termoadherente

De la Fig. 75, se establecen dosificaciones que se instituyeron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.09 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor ya que nos evita gastos innecesarios.

Por lo siguiente la emulsión TERMOADHERENTE nos representa una menor adherencia con respecto a las modificadas ya que eso es lo que se prevé.

Pero en cuanto a la temperatura es menos adherente a 25°C que a 40°C, pero solo es para una Termoadherente pero en comparación a las modificadas son mejor las modificadas

Los puntos que son colocados en la parte superior de cada curva son los puntos máximos de adherencia (Para la Fig. 74 y 75).

4.5.3 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C

Tabla 17. Resultados de adherencia de una ECS60-90 a temperatura de 40°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
4	ECS 60-90	60.50	*	0.09	331.80	2.00
				0.13	279.34	1.77
				0.18	210.53	1.53

En la Tabla 17, se dicen los valores arrojados del ensayo LCB, con la emulsión ECS60-90 para saber la comparación con respecto a las modificadas. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 40°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Asimismo nos indica la adherencia que tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

Tabla 18. Resultados de adherencia de una TERMOADHERENTE a temperatura de 40°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
5	Termoadherente	50.20	*	0.09	289.56	1.94
				0.13	249.91	1.68
				0.18	203.13	1.52

En la Tabla 18, se muestran los valores arrojadas del ensayo de LCB, con la emulsión TERMOADHERENTE para saber la comparación con respecto a las modificadas. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 40°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Asimismo nos indica la adherencia que tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

4.5.4 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C

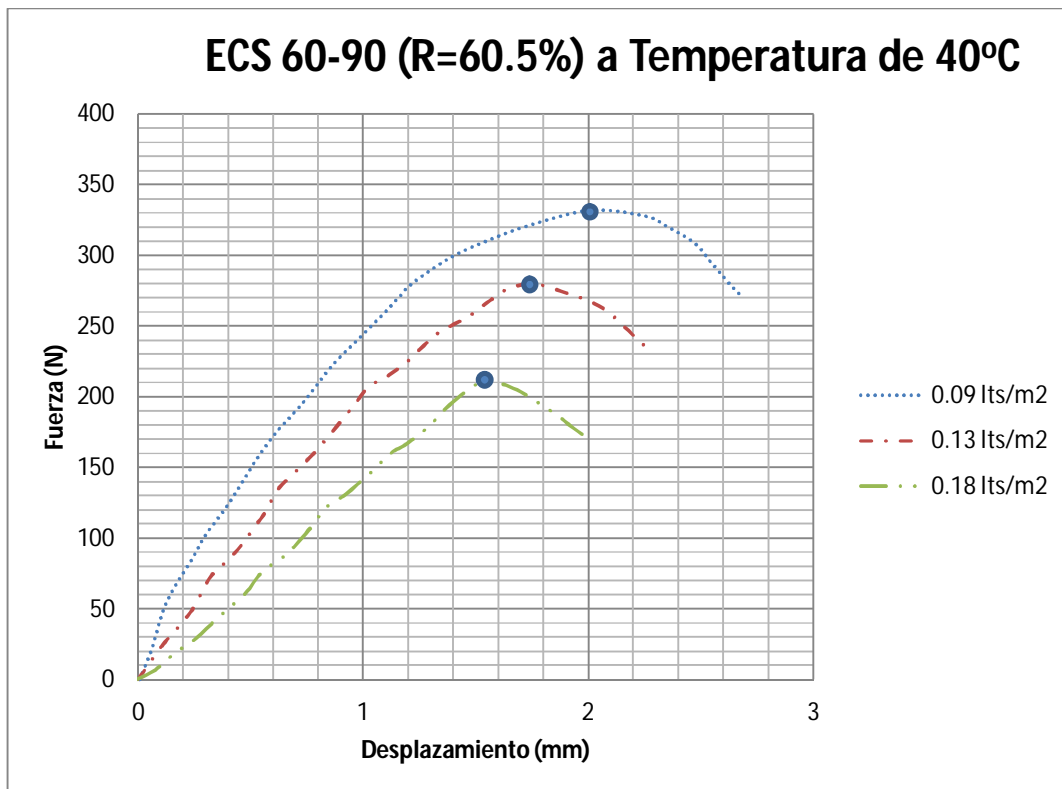


Fig. 76 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento “Superestable”

De la Fig. 76, se establecen dosificaciones que se implantaron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.09 lbs/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor ya que nos evita gastos innecesarios.

Por otra parte la emulsión ECS60-90 nos representa una menor adherencia con respecto a las modificadas ya que eso es lo que se prevé.

Pero en cuanto a la temperatura es más adherente a 40°C que a 25°C, pero solo es para una Superestable y no para una modificada.

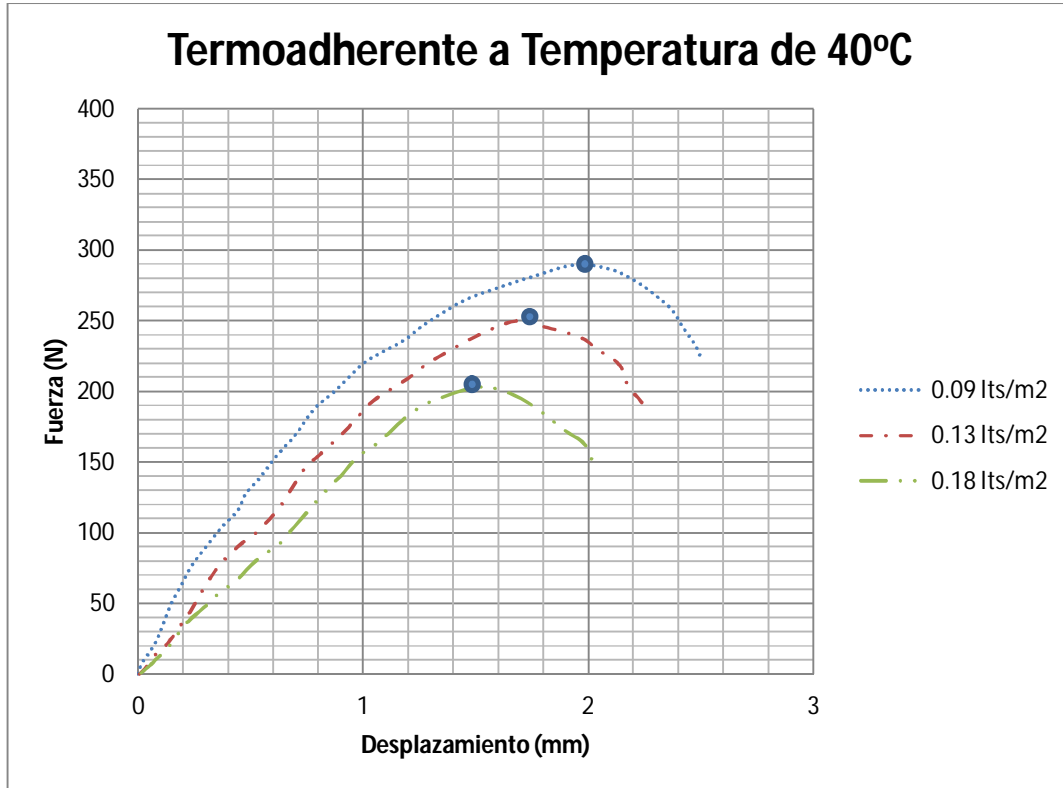


Fig. 77 Promedio Final de una Emulsión Termoadherente

De la Fig. 77, se puede establecer que con la dosificaciones que se establecieron de acuerdo a la norma de la SCT, la mas conveniente fue de 0.09 lts/m² ya que con ella se adquirió una mayor adherencia y que no es necesario tener una dosificación mayor ya que nos evita gastos innecesarios.

Por lo siguiente la emulsión TERMOADHERENTE nos representa una menor adherencia con respecto a las modificadas ya que eso es lo que se prevé.

Pero en cuanto a la temperatura es más adherente a 40°C que a 25°C, pero solo es para una Termoadherente pero en comparación a las modificadas son mejor las modificadas.

Los puntos que son colocados en la parte superior de cada curva son los puntos máximos de adherencia (Para la Fig.76 y 77).

4.6 LAS PRÁCTICAS DE CONSTRUCCIÓN COMO EL POREO DAÑAN EL RIEGO DE LIGA

4.6.1 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C

Tabla 19. Resultados de adherencia con poreo con una ECS60-90 a 25°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedio Final	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
6	ECS 60-90 con Poreo	60.50	*	0.09	250.49	0.92
				0.13	186.27	0.83
				0.18	127.20	0.66

En la Tabla 19, se dicen los valores arrojados del ensayo LCB, con la emulsión ECS60-90 para saber que tanto el poreo puede afectar el riego de liga. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 25°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Aquí nos indica la adherencia que tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

4.6.2 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 25°C

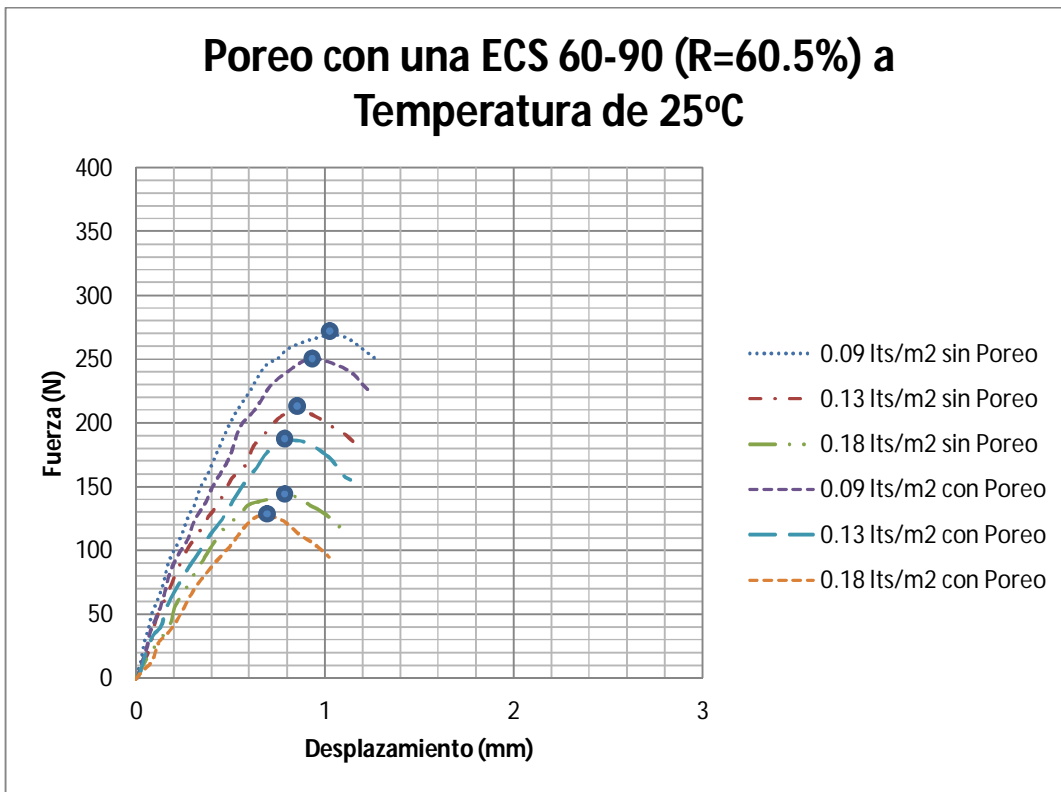


Fig. 78 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento “Superestable” con poreo

De la Fig. 78, se establece una comparación de una ECS60-90 (Tabla 17), sin poreo y con poreo (Tabla 19) para saber que tanto puede ser afectado el riego de liga pero a temperatura de 25°C.

Para este caso nos indica que si hay daño en el riego de liga por el poreo ya que la arena absorbe casi en un ochenta porciento de riego de liga y carece de adherencia, y entre mas fina sea la arena absorbe mucho más.

Pero en cuanto a la temperatura es menos adherente a 25°C que a 40°C, pero eso es lo que se prevé en esta hipótesis.

Los puntos que son colocados en la parte superior de cada curva son los puntos máximos de adherencia.

4.6.3 Tablas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C

Tabla 20. Resultados de adherencia con poreo con una ECS60-90 a 40°C

No. De Emulsión	Tipo de Emulsión	% Residuo asfáltico en la emulsión	% de polímero	Dosificación de emulsión (L/m ²)	Promedios	
					Fuerza (kN)	Desplazamiento (mm)
6	ECS 60-90 con Poreo	60.50	*	0.09	310.82	1.90
				0.13	251.80	1.63
				0.18	180.36	1.50

En la Tabla 20, se muestran valores arrojados del ensayo LCB, con la emulsión ECS60-90 para saber que tanto el poreo puede afectar el riego de liga. También se observa el acondicionamiento de temperatura de 40°C, con las cuales fue posible representar las siguientes graficas.

Asimismo nos indica la adherencia que tiene con respecto a cada dosificación de cada emulsión.

4.6.4 Graficas de Resultados condicionadas a temperatura de 40°C

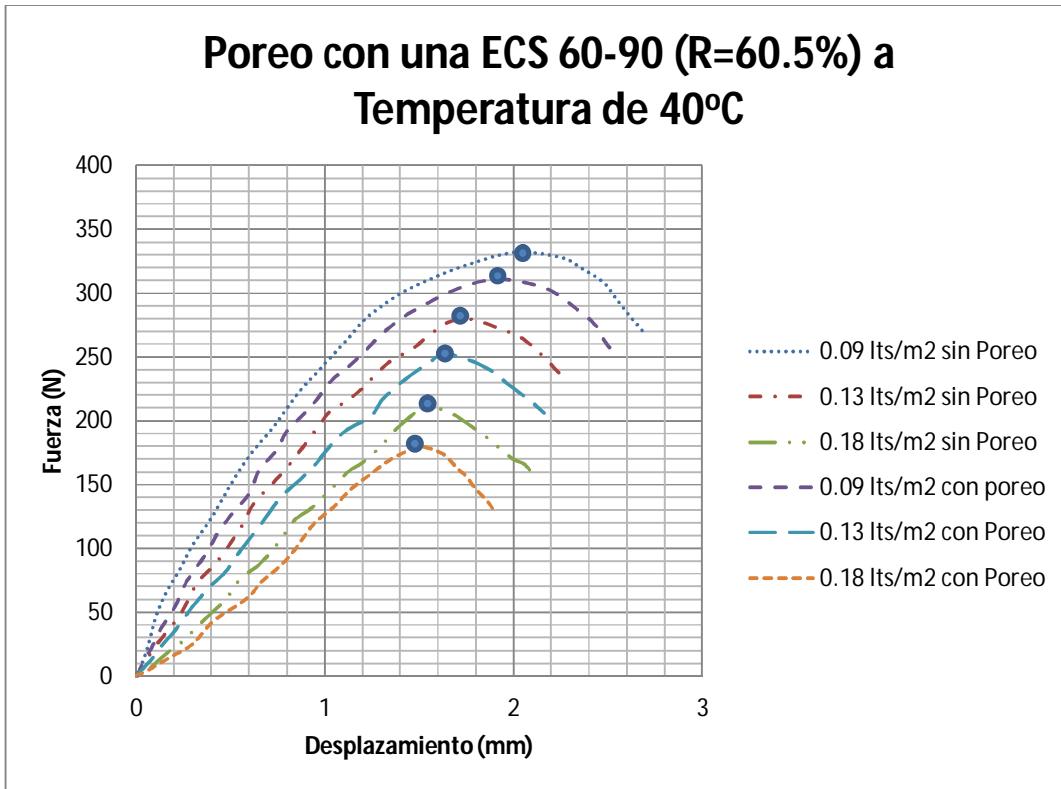


Fig. 79 Promedio Final de una Emulsión de Rompimiento “Superestable” con poreo

De la Fig. 79 se establece una comparación de una ECS60-90 (Tabla 17), sin poreo y con poreo (Tabla 20) para saber que tanto puede ser afectado el riego de liga pero a temperatura de 40°C.

Para este caso nos indica que sí hay daño en el riego de liga por el poreo ya que la arena absorbe casi en un ochenta por ciento de riego de liga y carece de adherencia, y entre mas fina sea la arena absorbe mucho más.

Pero en cuanto a la temperatura es mas adherente a 40°C que a 25°C, pero eso es lo que se prevé en esta hipótesis.

Los puntos que son colocados en la parte superior de cada curva son los puntos máximos de adherencia.

Nota: Si quieres ver detalladamente la adherencia que hay entre cada capa y en cada dosificación de emulsión puede notarla en el Anexo A1.

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES

Para concluir con este trabajo señalamos que los resultados obtenidos son de acuerdo a las hipótesis que se mencionan a continuación:

1. **A mayor contenido de polímero mayor resistencia de liga.**

De acuerdo a los resultados experimentales, la hipótesis fue correcta ya que el resultado nos indica que a mayor porcentaje de polímero mayor adherencia por lo tanto si cumple la hipótesis. Otro punto muy importante es la temperatura, donde resulta una mayor adherencia, a temperatura de 25⁰C que a una de 40⁰C y corresponde conforme a la Norma de Emulsiones de la SCT. Con respecto a las dosificaciones el valor mas apropiado es de 0.13 lts/m².

2. **Asfaltos más dúctiles generan una mayor adherencia, lo que favorece la resistencia de la liga.**

Para esta hipótesis nos resulta correcta ya que de acuerdo a los resultados nos dice que efectivamente un asfalto más dúctil o bien más blando, tiene mayor resistencia y en cuanto a la temperatura nos resulta más adherencia a una de 25⁰C que una de 40⁰C y corresponde conforme a la Norma de Emulsiones de la SCT. Con respecto a las dosificaciones el valor mas apropiado es de 0.18 lts/m².

3. **A mayor asfalto residual mayor resistencia de la liga.**

En este punto nos da que efectivamente a mayor porcentaje de liga nos resulta una mayor adherencia y que no es necesario invertir en una emulsión con un porcentaje residual menor. De acuerdo con la temperatura resulta que a 25⁰C es más adherente que con una de 40⁰C y corresponde conforme a la Norma de Emulsiones de la SCT. Con respecto a las dosificaciones el valor mas apropiado es de 0.13 lts/m².

4. **Valoración de la emulsión convencional superestable frente a las modificadas.**

De acuerdo a las observaciones de los resultados nos dice que es mas conveniente trabajar con una emulsión modificada ya que tienen una mayor adherencia que con una emulsión superestable. En cuanto a las temperaturas, una superestable nos indica que a temperatura de 25⁰C no tiene adherencia como la de una de 40⁰C. Con respecto a las dosificaciones el valor mas apropiado es de 0.09 lts/m².

Asimismo se realizó la comparación con una termoadherente de igual manera tiene mayor adherencia con una temperatura de 40°C que con una de 25°C, que es lo que se estipulaba conforme a la Norma de Emulsiones de la SCT.

5. Las practicas de construcción como el poreo dañan el riego de liga

Para este punto el poreo se analizó con una emulsión superestable, de acuerdo a las observaciones que se realizaron en laboratorio los ensayos que se acondicionaron a 25°C, tuvo una menor adherencia ya que se observaba el desprendimiento entre una capa y otra. En cuanto a las que se acondicionaron a 40°C, tuvo mayor adherencia, y no hubo desprendimiento entre una capa y otra.

En conclusión si hubo daño en el riego de liga a una temperatura menor que a una mayor.

5.2 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN RECOMENDADAS

Este trabajo de investigación nos da pauta para seguir ampliando nuestros conocimientos con respecto a la adherencia entre capas empleando diferentes emulsiones ya que se puede ensayar de varias maneras como pueden ser las siguientes:

- El determinar la adherencia entre capas asfálticas pero acondicionarlas a temperaturas extremas para tener conocimiento de qué manera reaccionan para distintas áreas de nuestro país que es México, un ejemplo es el desierto que por el día tienen temperaturas por arriba de los 40°C y que por la noche son por debajo de los - 20°C.
- Otro punto puede ser el dejar los ensayos a temperatura ambiente para saber que tanto afecta el intemperismo en un determinado tiempo de vida, como puede ser a largo o a corto plazo.
- O bien se puede obtener la adherencia entre capas pero ahora con diferentes asfaltos y diferentes emulsiones, eso sería muy importante para ampliar nuestro conocimiento con respecto a las emulsiones y a los asfaltos.

CAPÍTULO 6
BIBLIOGRAFÍA

6.1 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mariano Palacios Alcocer, revista AMIVTAC, Vías Terrestres.
- [2] Kai Su et al. "Analysis of shear stress in asphalt pavements under actual measured tire-pavement contact pressure. 6th ICPT, Sapporo, Japan. 2008
- [3] Norma SCT de emulsiones N-CMT-4-05-001/06
- [4] Dirección General de Institutos Tecnológicos, Instituto Tecnológico de Tehuacán, "Diseño y Construcción de Pavimentos", Ing. Eduardo López Sánchez, Fallas en los pavimentos flexibles y rígidos, 2009.
- [5] Norma NLT-328/08, "Evaluación de la adherencia entre capas de Firme, mediante ensayo de corte".
- [6] Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, Tesis "Estudio Experimental de la resistencia de la Adherencia entre capas en la construcción de carpetas asfálticas en caliente", Cristian Fabián Álvarez Calisto, Santiago de Chile, Octubre 2007.
- [7] Rivera E. Gustavo (1987), "Emulsiones Asfálticas", 3ª Edición, Editado por Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. México.
- [8] Asphalt Institute, "Emulsiones Asfálticas", Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, Manual Series No. 9, Pág 1-13
- [9]<http://naturalcosmeticslab.blogspot.mx/2012/02/emulsiones-parte-7-componentes-de-una.html>
- [10] Emulsiones Asfálticas[<http://www.emulsionesasfalticas.com/riegodoc.htm>]
- [11]http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/productos/easfalticas/Default.aspx
- [12] A.C. Collop^a, M.H. Sutanto^a, G.D. Airey^a, R.C. Elliott^b "Shear bond strength between asphalt layers for laboratory prepared samples and field cores", Journal of 9 January 2009.
- [13] Carlos Crespo Villalaz, "Vías de Comunicación, Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos", 4 Edición, Editores Noriega, Edición Limusa, 2010.
- [14] Olivera Bustamante Fernando. "Estructuración de vías terrestres", 2ed. México: Cecsa 413p. 1994
- [15] Norma N-CMT-4-04/02, CMT. Características de los materiales, Parte 4, Materiales para Pavimentos, Materiales Pétreos para mezclas Asfálticas.

- [16] Norma M-MMP-1-05/03, MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales, Parte 1, Suelos y materiales para terracerías. Título 7. Equivalente de Arenas.
- [17] Norma M-MMP-1-05/03, MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales, Parte 1, Suelos y materiales para terracerías. Título 7. Densidades Relativas y Absorción.
- [18] Juárez Badillo Rico Rodríguez, “Mecánica de Suelos”, Tomo I, Editorial Limusa, Editores Noriega.
- [19] Norma M-MMP-1-07/07, MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales, Parte 1, Suelos y materiales para terracerías. Título 7. Límites de Consistencia.
- [20] Norma N-CMT-4-04-006/02, CMT. Características de los materiales, Parte 4, Materiales para Pavimentos, Materiales Pétreos para mezclas Asfálticas. Capítulo 6. Desgaste Mediante la Prueba de Los Ángeles de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.
- [21] Norma NLT-124/99, “Penetración de los materiales bituminosos”.
- [22] Norma M-MMP-4-05-007/00, MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales, Parte 4, Materiales para Pavimentos, Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas. Capítulo 7. Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos.
- [23] Norma NLT-125/99, “Punto de reblandecimiento anillo y bola de los materiales bituminosos”.
- [24] Norma M-MMP-4-05-004/00 MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales, Parte 4. Materiales para Pavimentos, Título 5. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas, Capítulo 4. Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos.
- [25] Norma M-MMP-4-05-013/02 MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales, Parte 4. Materiales para Pavimentos, Título 5. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas, Capítulo 13 Asentamiento de Emulsiones Asfálticas.
- [26] Norma M-MMP-4-05-014/02 MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales, Parte 4. Materiales para Pavimentos, Título 5. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas, Capítulo 14. Retenido en las Mallas No. 20 en emulsiones asfálticas.
- [27] Norma M-MMP-4-05-016/00 MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales, Parte 4. Materiales para Pavimentos, Título 5. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas, Capítulo 16. Miscibilidad con Cemento Portland de Emulsiones Asfálticas.

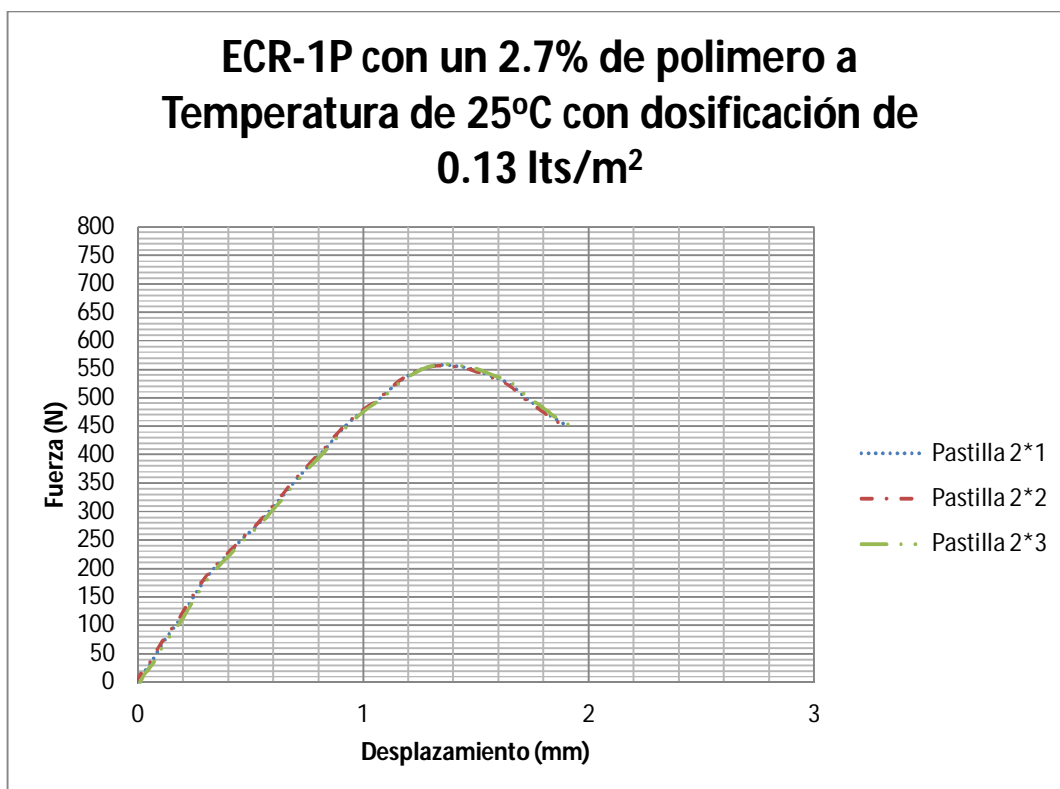
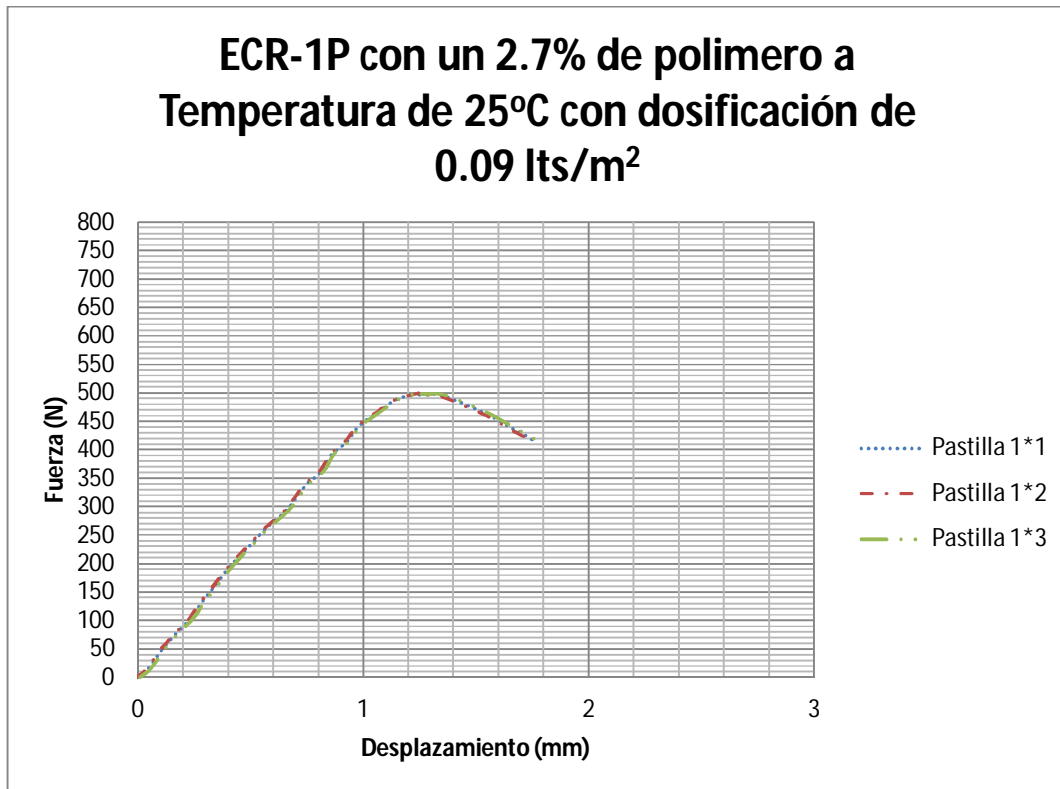
- [28] Norma M-MMP-4-05-017/00 MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales, Parte 4. Materiales para Pavimentos, Título 5 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas, Capítulo 17. Carga Eléctrica de las Partículas de Emulsiones Asfálticas.
- [29] Norma M-MMP-4-05-012/00, MMP. Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales, Parte 4. Materiales para Pavimentos, Título: Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas, Capítulo 12: Destilación de Emulsiones Asfálticas.
- [30] Carlos Alejandro Cáceres Morales “Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas Asfálticas en México”, Tesis Profesional, Cholula Puebla, 2007.
- [31] Norma N-CMT-4-05-003/02, CMT. Características de los materiales, Parte 4, Materiales para Pavimentos, Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas, Capítulo 3. Calidad de Mezclas Asfálticas para carreteras.
- [32] Rogelio Rodríguez Talavera, Víctor Manuel Castaño Meneses, Miguel Martínez Madrid, “Emulsiones Asfálticas”. Documento Técnico No. 23, Sanfandila, Qro, 2001

ANEXO A1

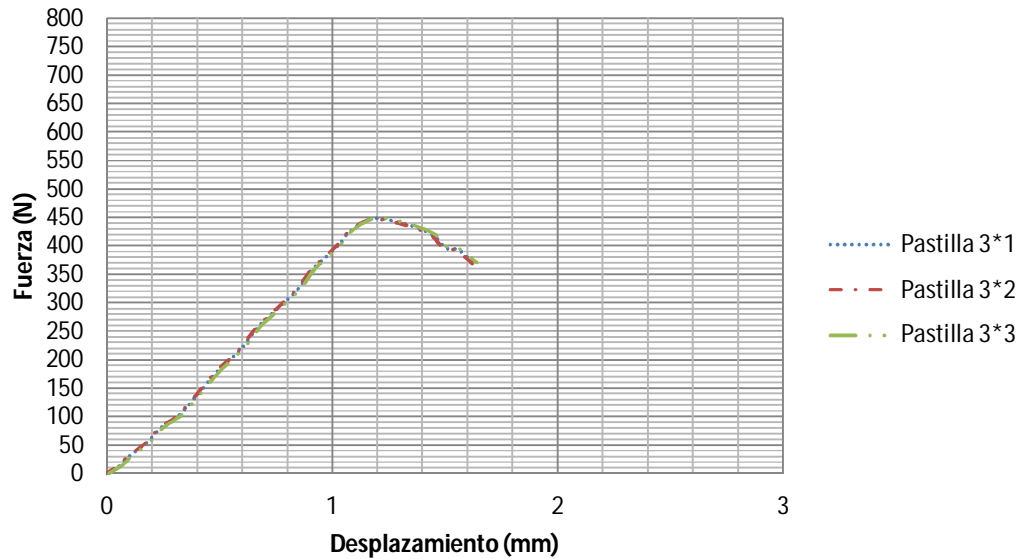
***GRAFICAS DE
COMPORTAMIENTO***

TEMPERATURA A 25°C

a.1 ECR-1P (R=65.75%) con 2.7% de Polímero

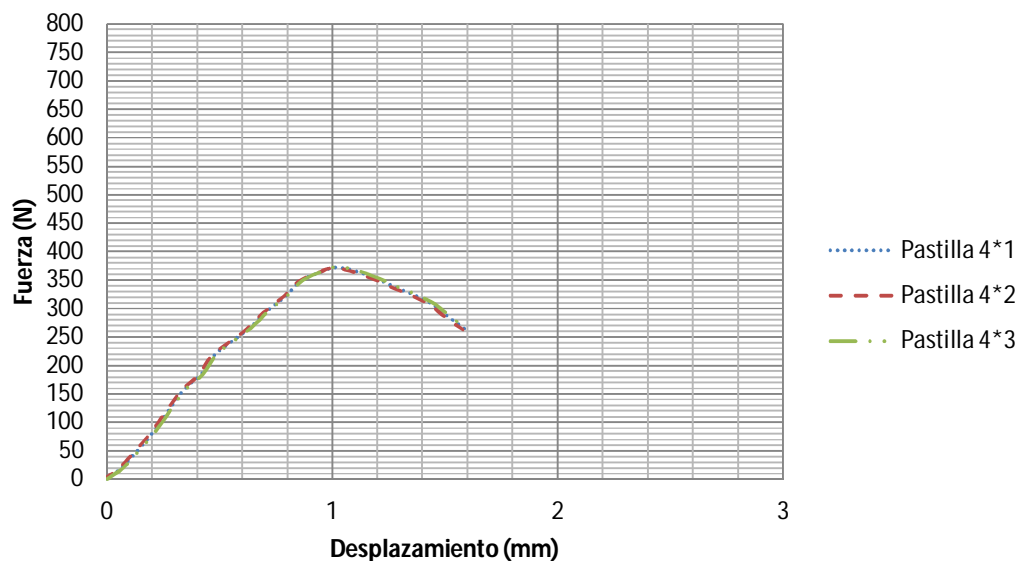


**ECR-1P con un 2.7% de polimero a
Temperatura de 25°C con dosificación de
0.18 lts/m²**

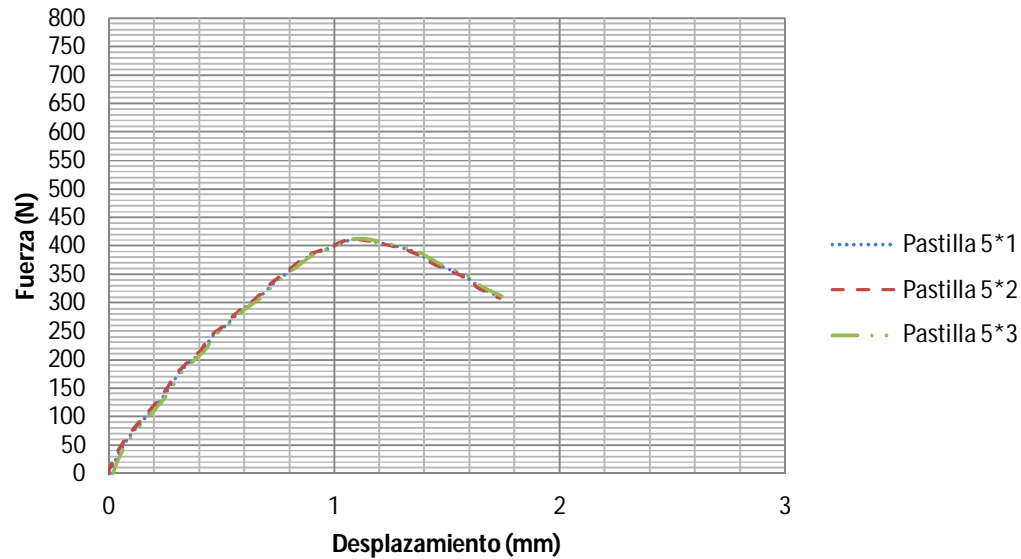


a.2 ECR-1P (R=65.60%) con 3.7% de Polímero

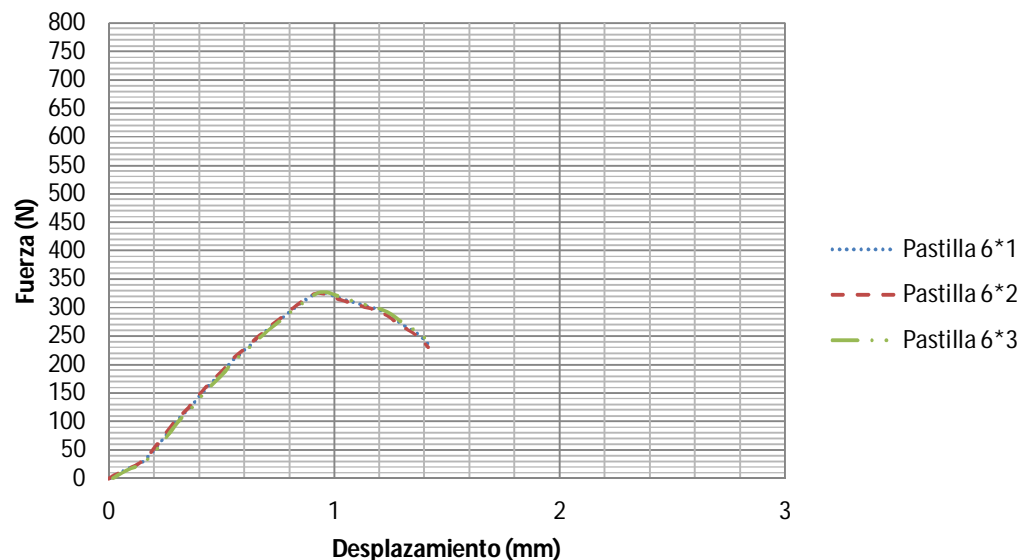
**ECR-1P con un 3.7% de polimero a
Temperatura de 25°C con dosificación de
0.09 lts/m²**



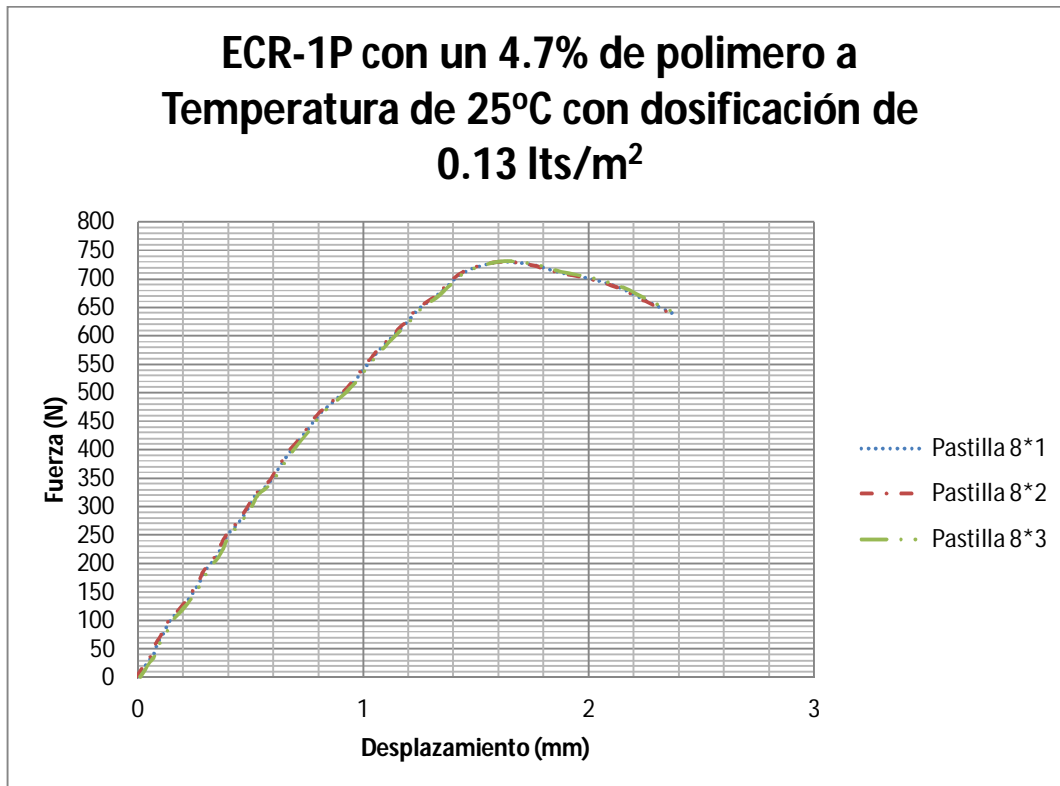
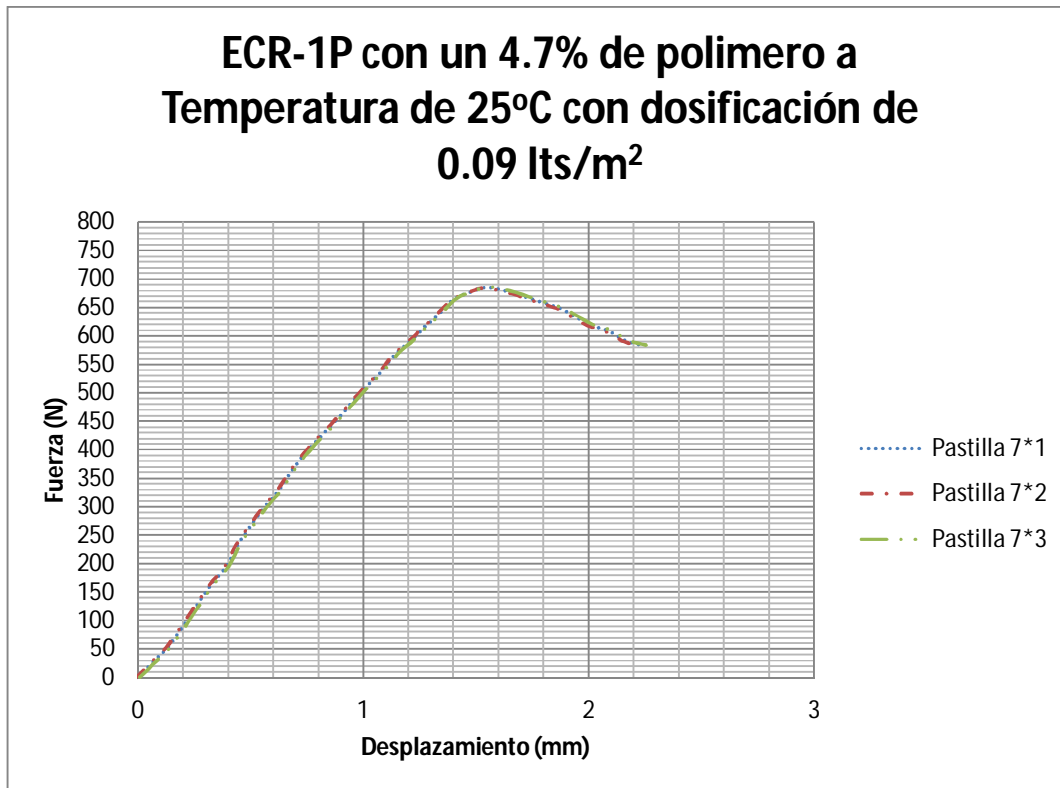
**ECR-1P con un 3.7% de polimero a
Temperatura de 25°C con dosificación de
0.13 lts/m²**



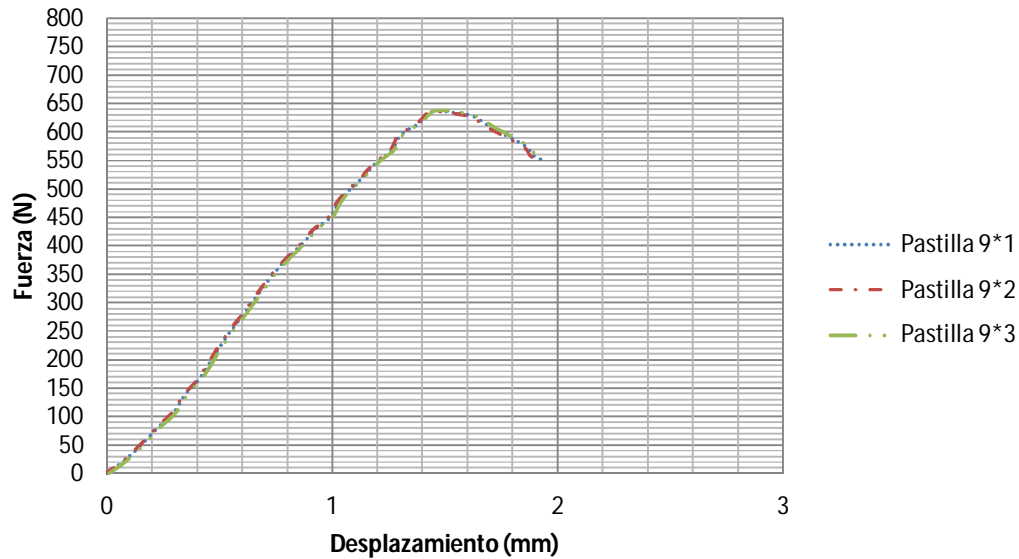
**ECR-1P con un 3.7% de polimero a
Temperatura de 25°C con dosificación de
0.18 lts/m²**



a.3 ECR-1P (R=66 %) con 4.7% de Polímero

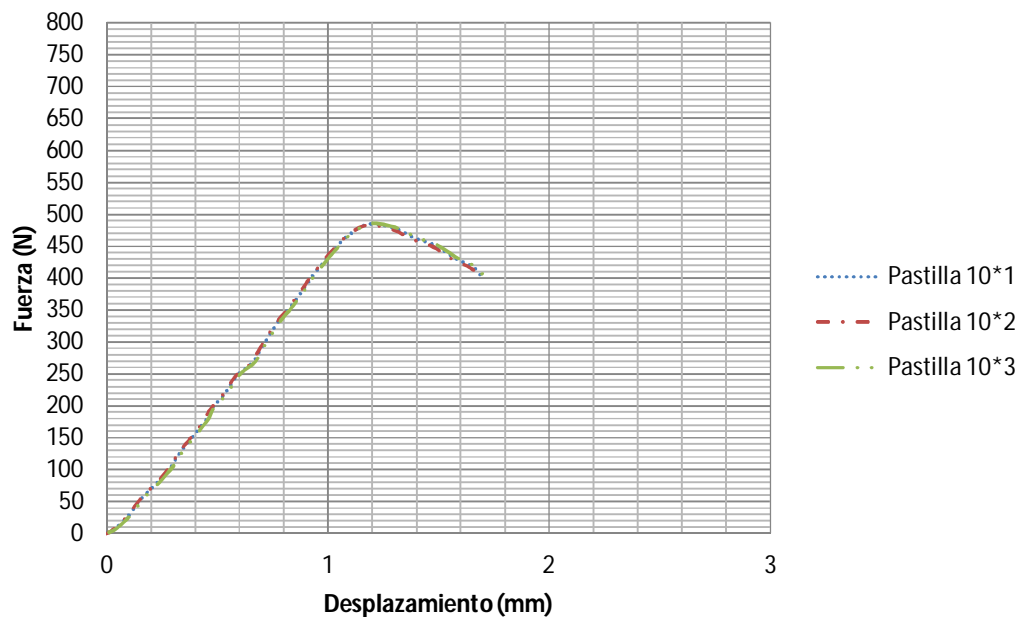


**ECR-1P con un 4.7% de polimero a
Temperatura de 25°C con dosificación de
0.18 lts/m²**

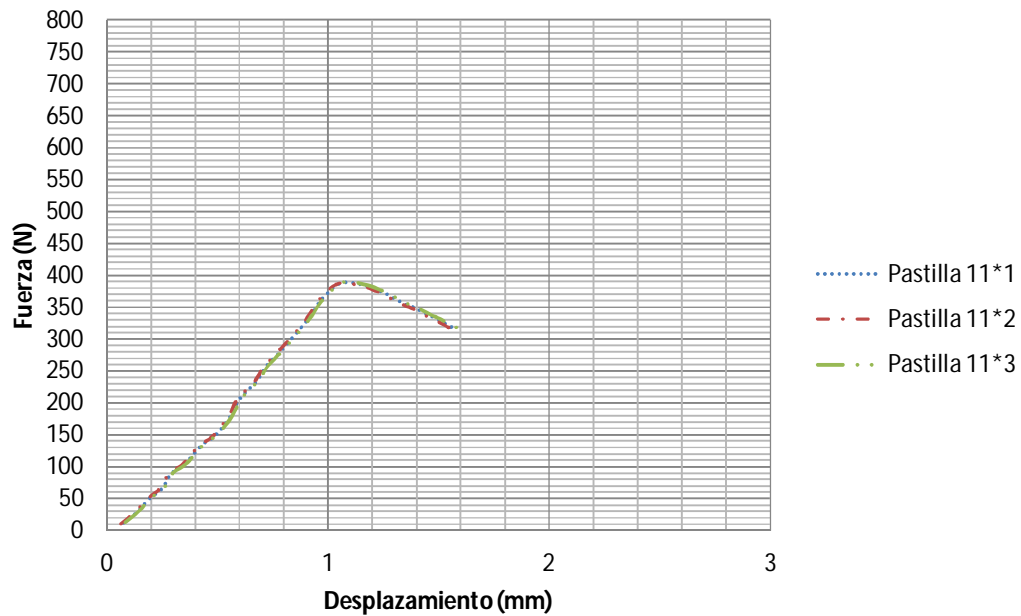


a.4 ECR60-90 (R=60.8 %)

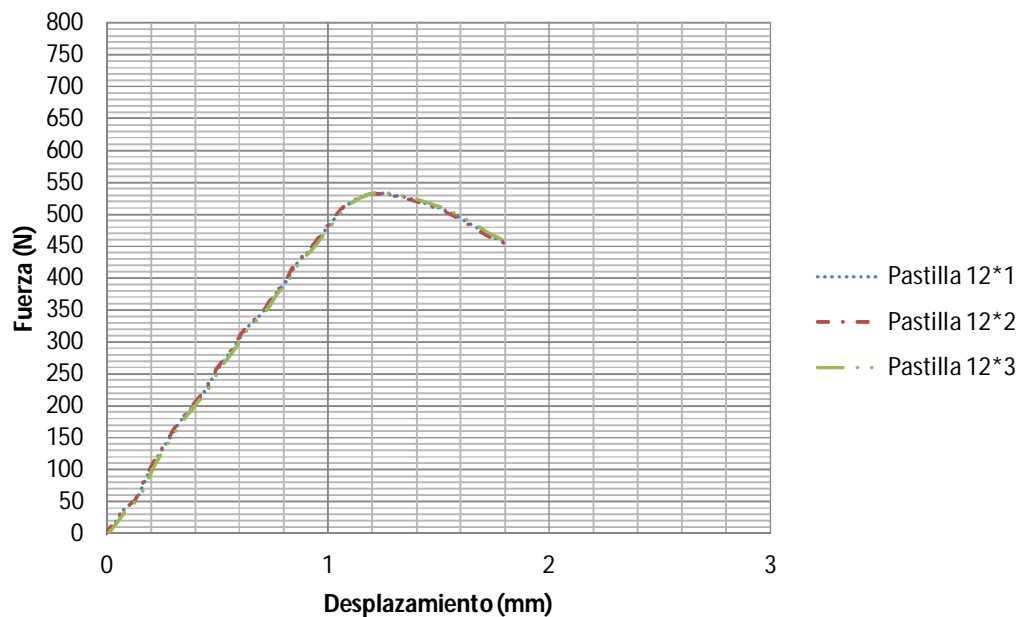
**ECR60-90(R=60.8%) a Temperatura de 25°C
con dosificación de 0.09 lts/m²**



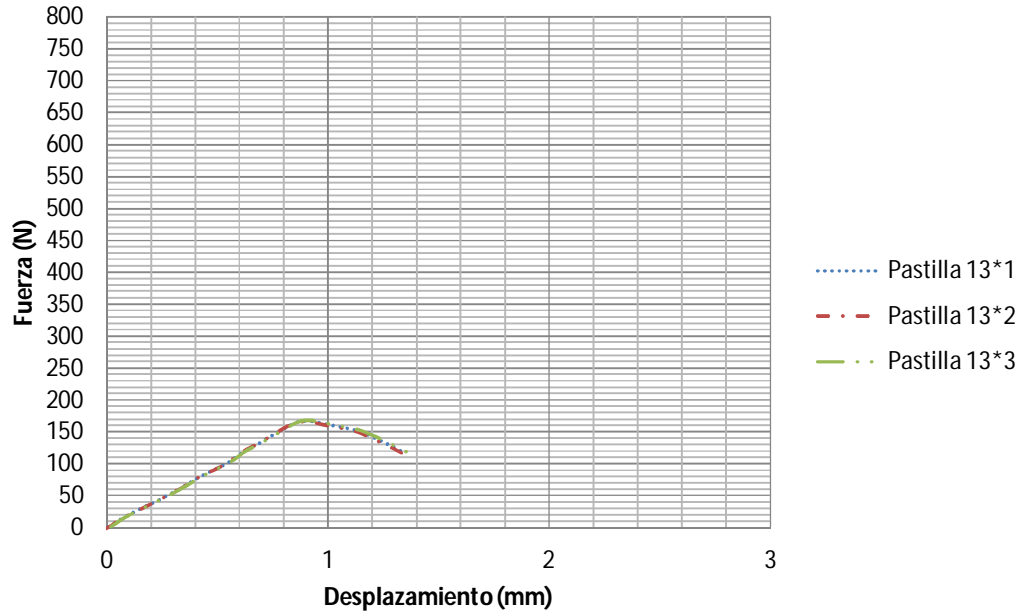
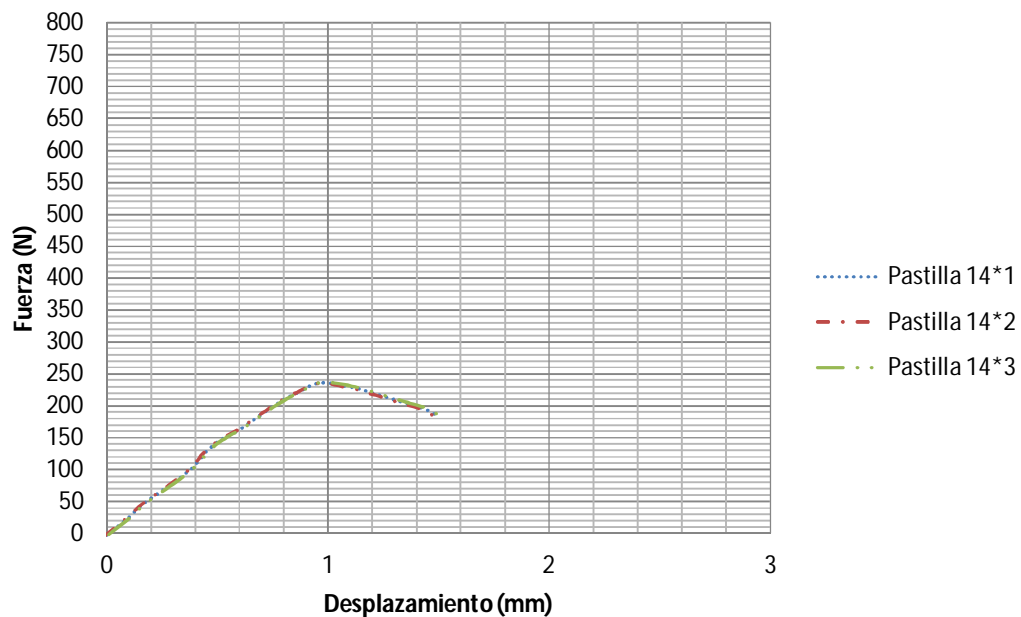
ECR60-90(R=60.8%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.13 lts/m²



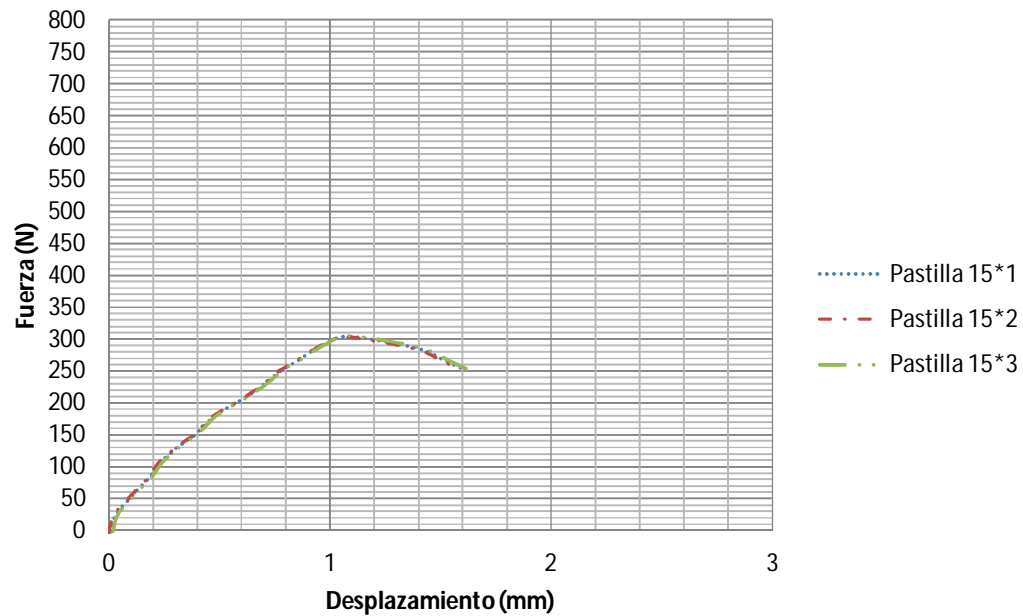
ECR60-90(R=60.8%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.18 lts/m²



a.5 ECR60-110 (R=61.6 %)

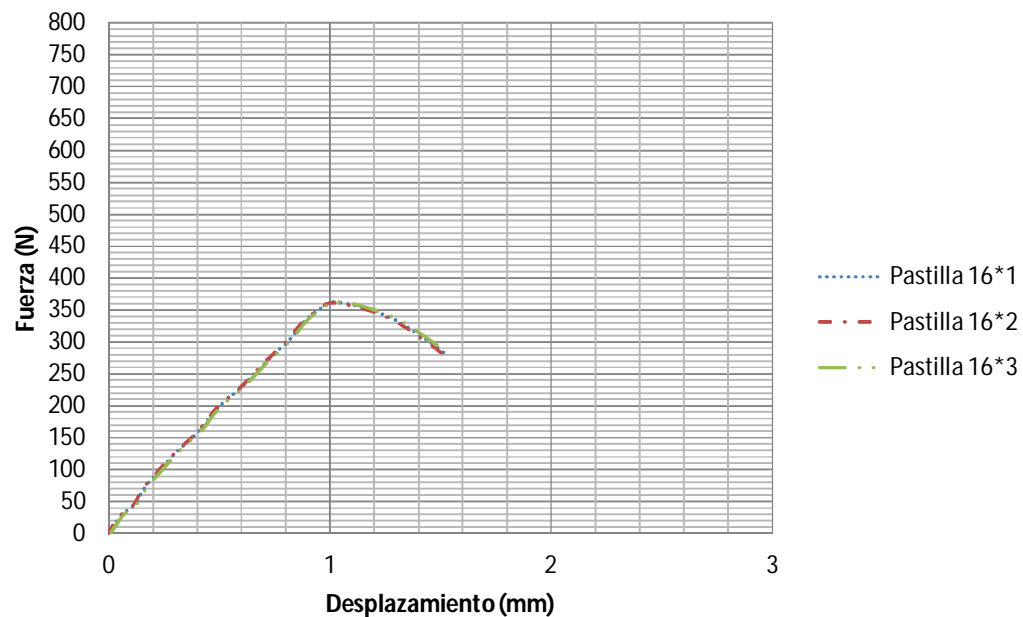
**ECR60-110 (R=61.6%) a Temperatura de 25°C
con dosificación de 0.09 lts/m²****ECR60-110 (R=61.6%) a Temperatura de 25°C
con dosificación de 0.13 lts/m²**

ECR60-110 (R=61.6%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.18 lts/m²

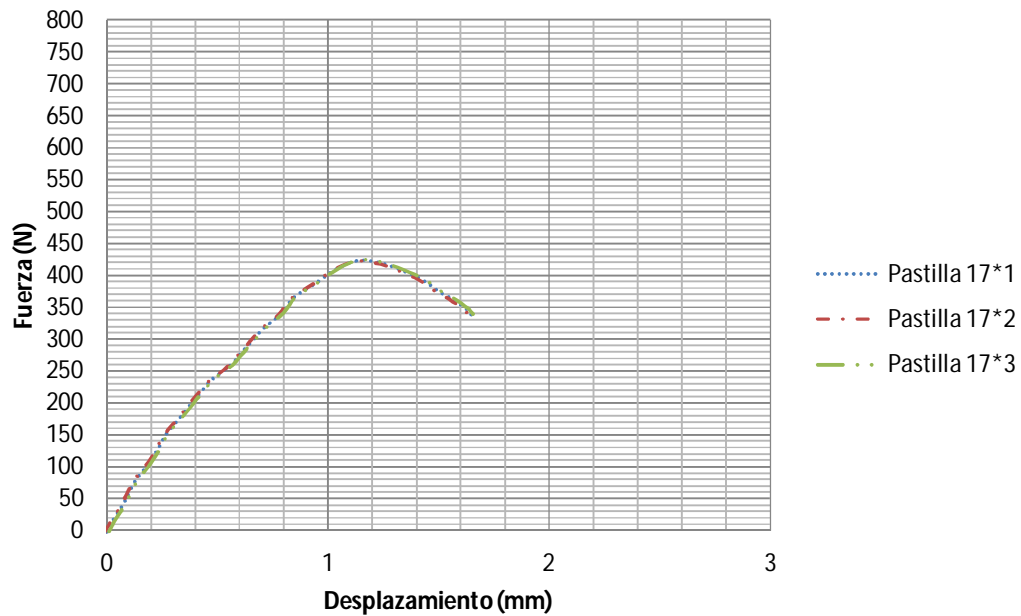


a.6 ECR-2P (R=67 %)

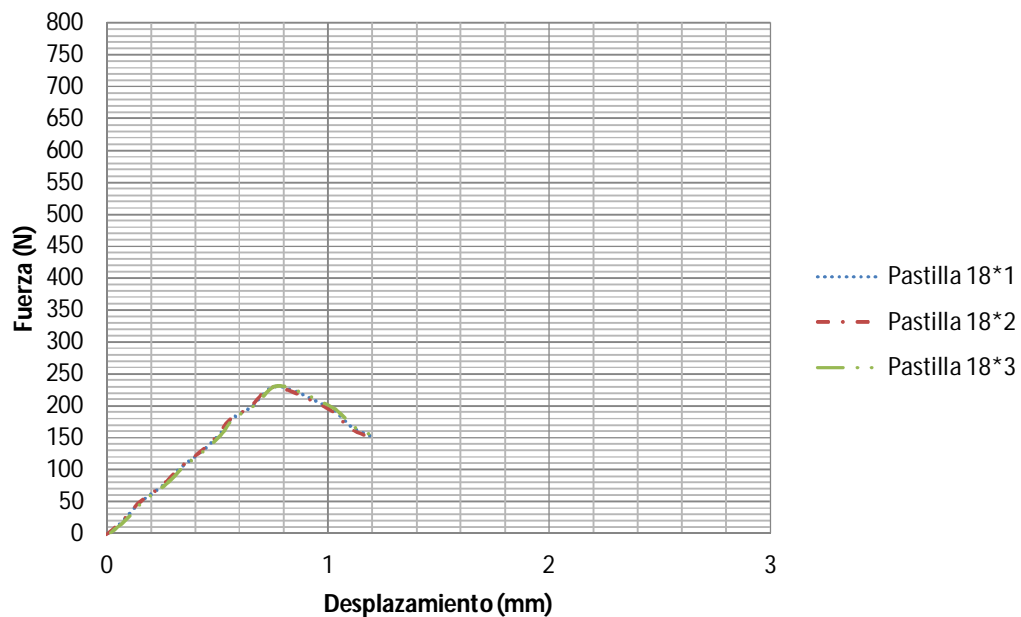
ECR-2P (R=67%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.09 lts/m²



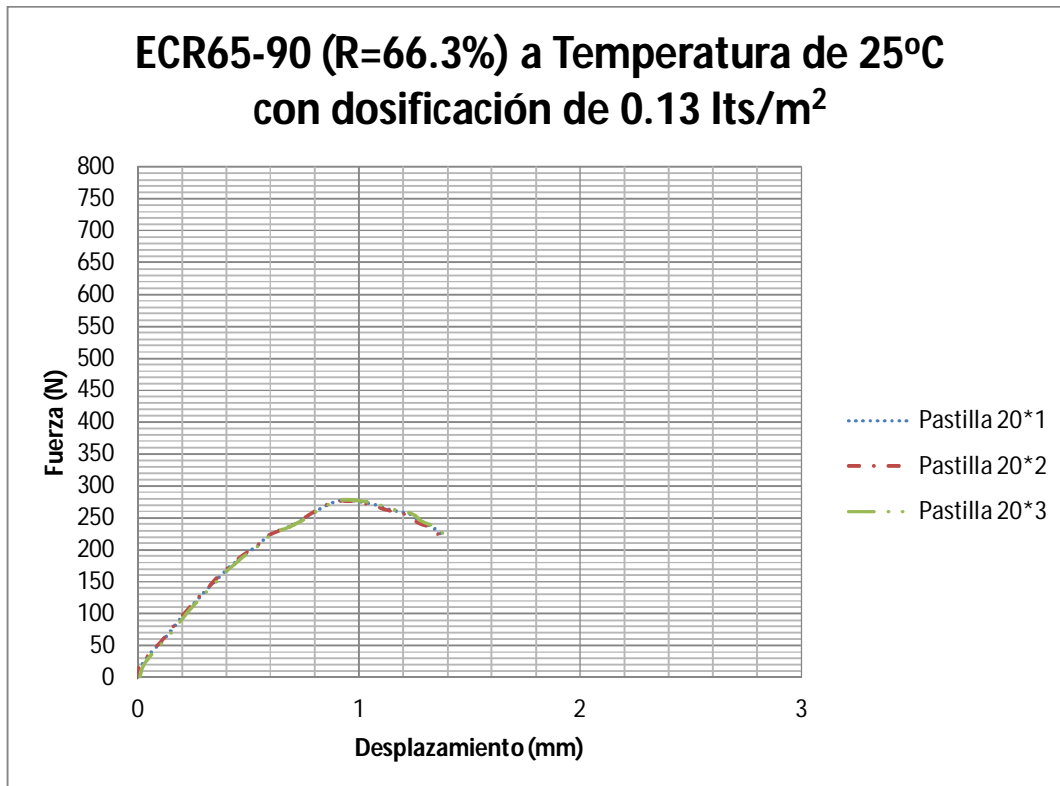
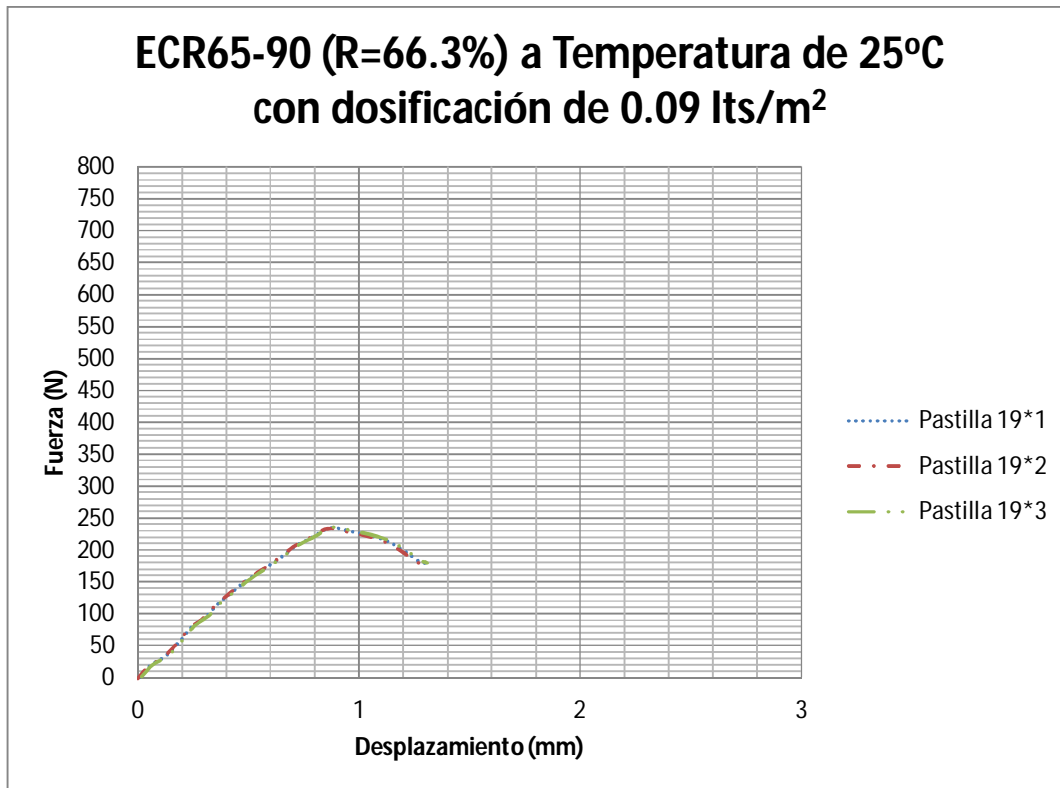
ECR-2P (R=67%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.13 lts/m²



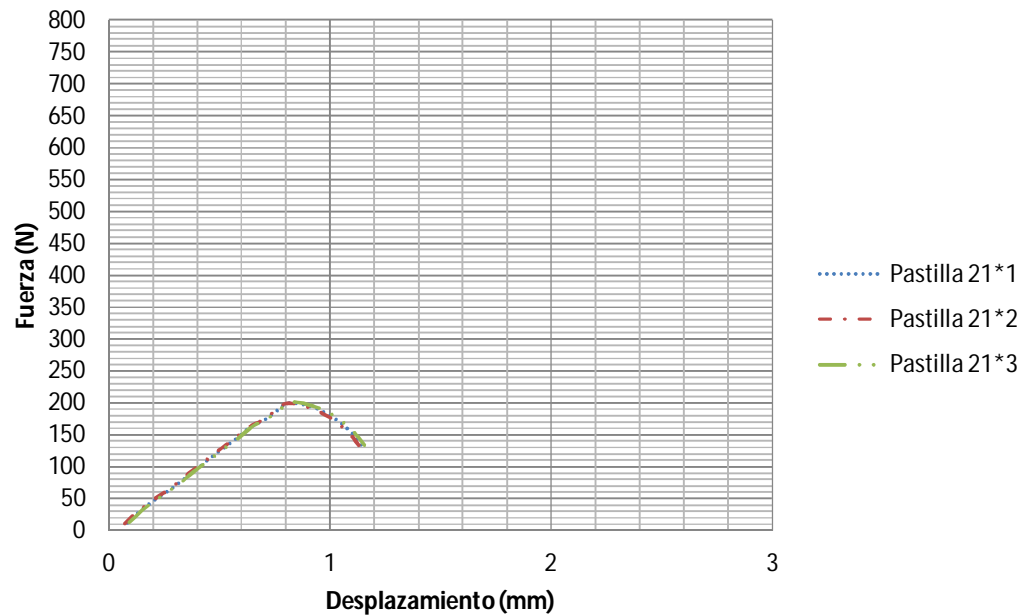
ECR-2P (R=67%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.18 lts/m²



a.7 ECR65-90 (R=66.3 %)

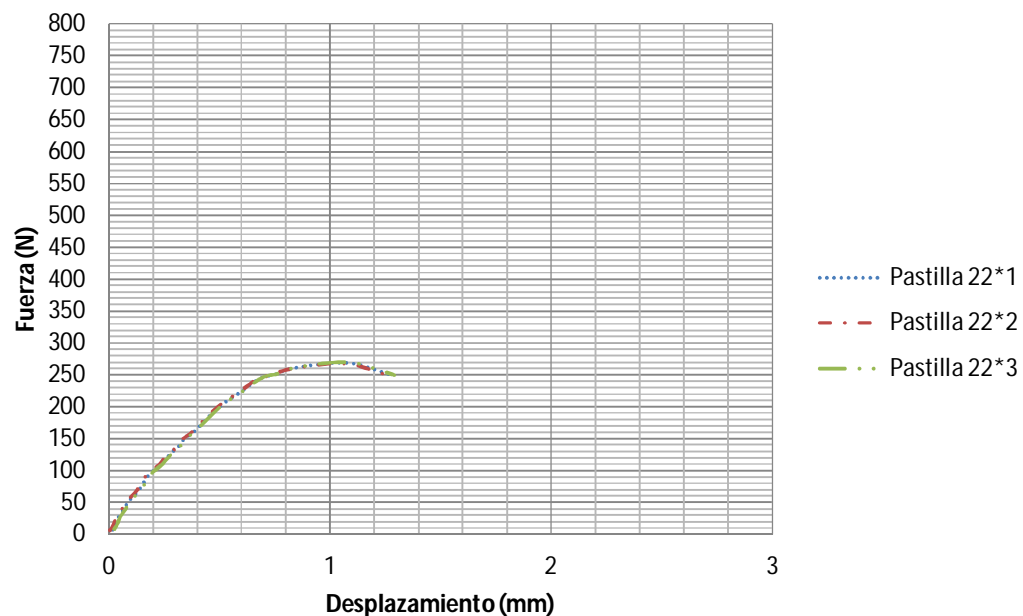


ECR65-90 (R=66.3%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.18 lts/m²

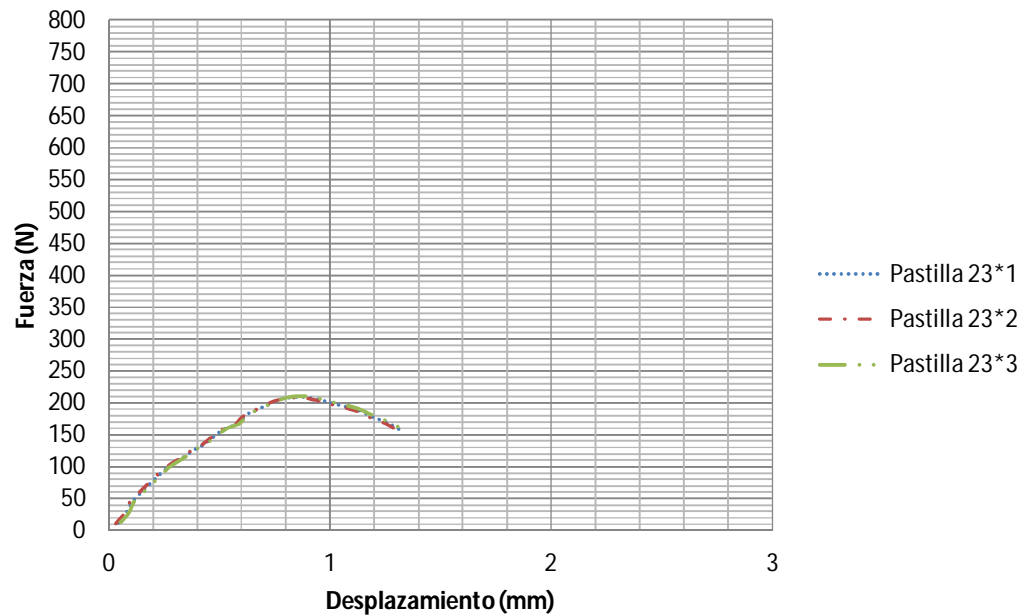


a.8 ECS60-90 (R=60.5 %)

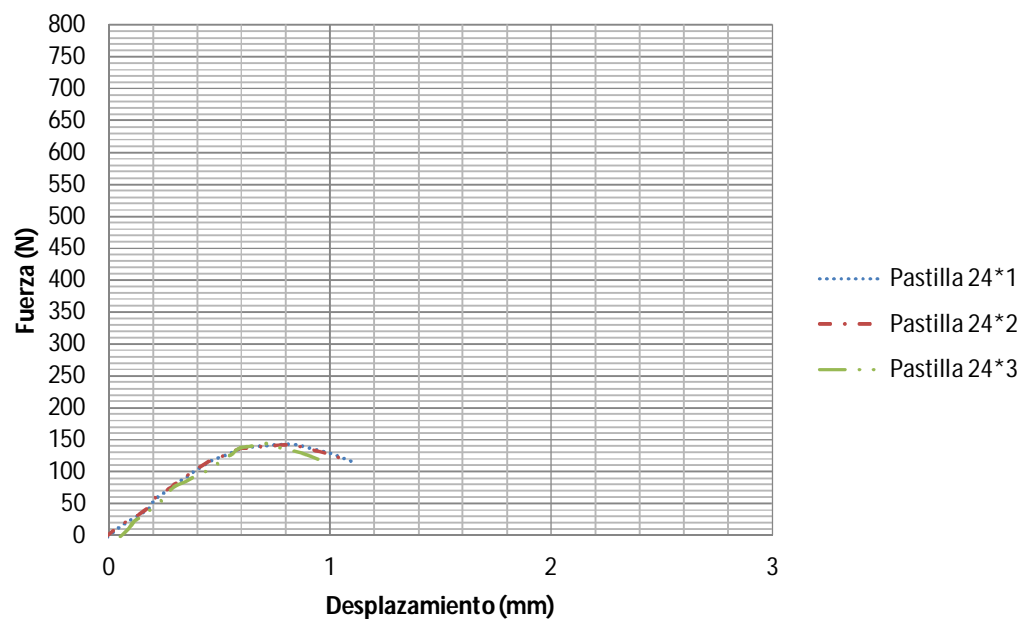
ECS 60-90 (R=60.5%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.09 lts/m²



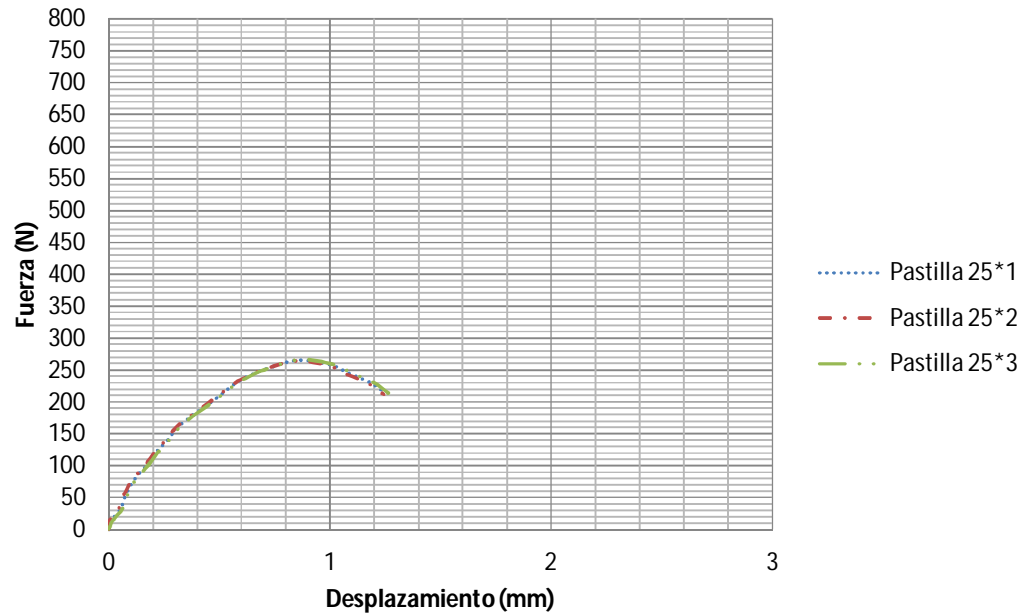
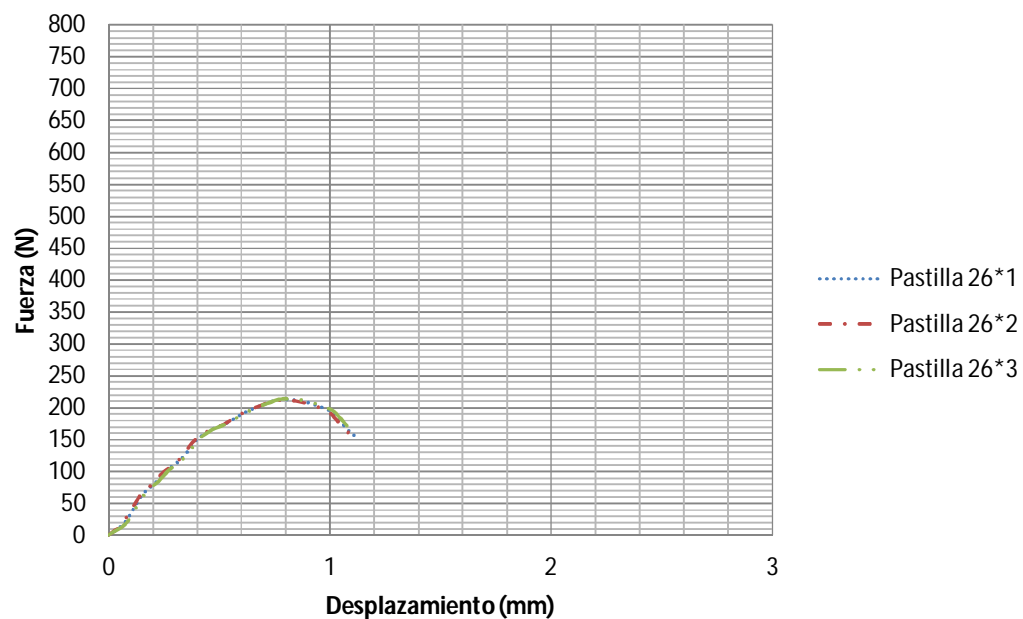
ECS 60-90 (R=60.5%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.13 lts/m²



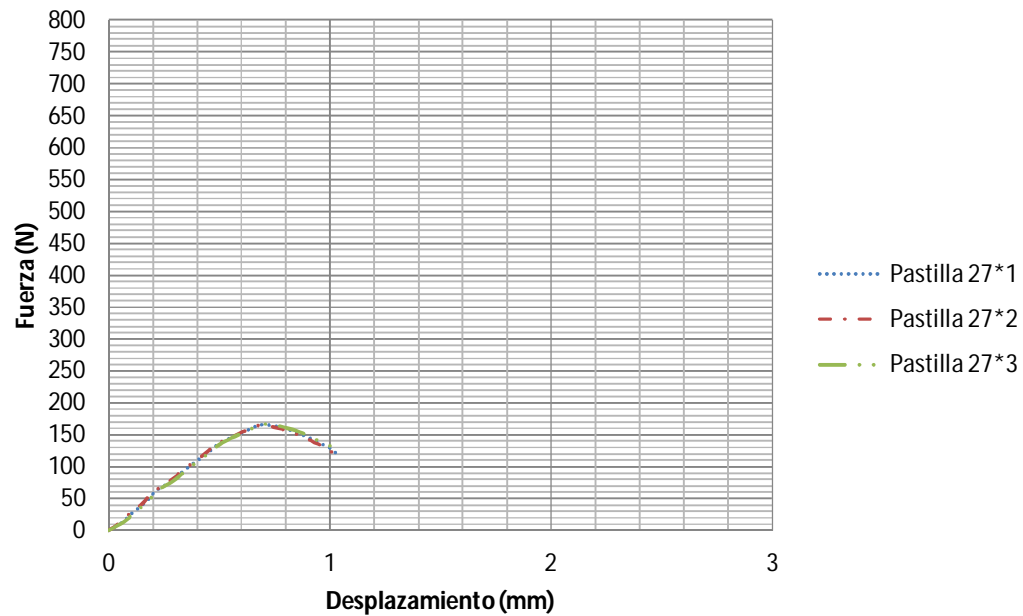
ECS 60-90 (R=60.5%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.18 lts/m²



a.9 TERMOADHERENTE

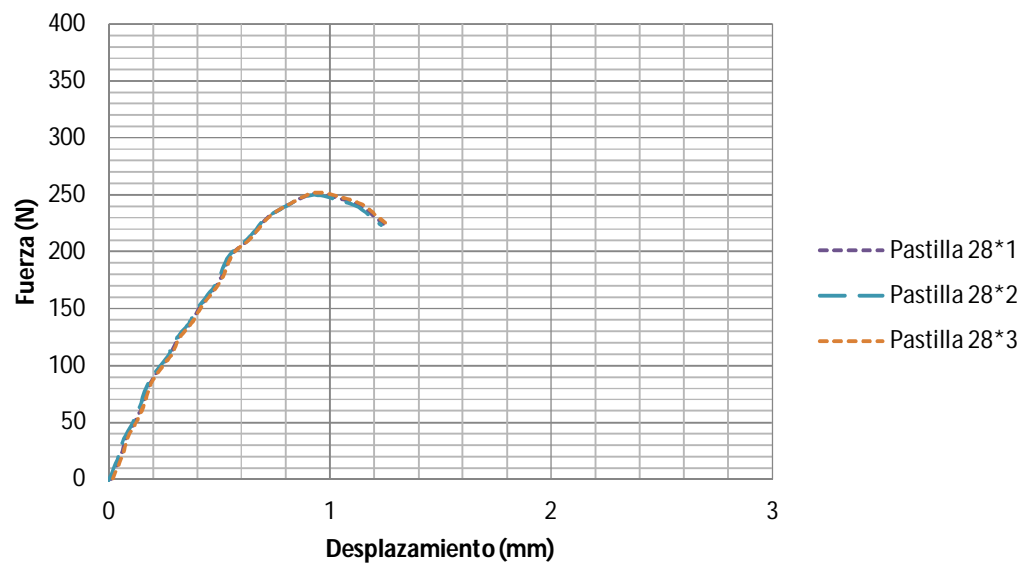
Termoadherente a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.09 lts/m²**Termoadherente a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.13 lts/m²**

Termoadherente a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.18 lts/m²

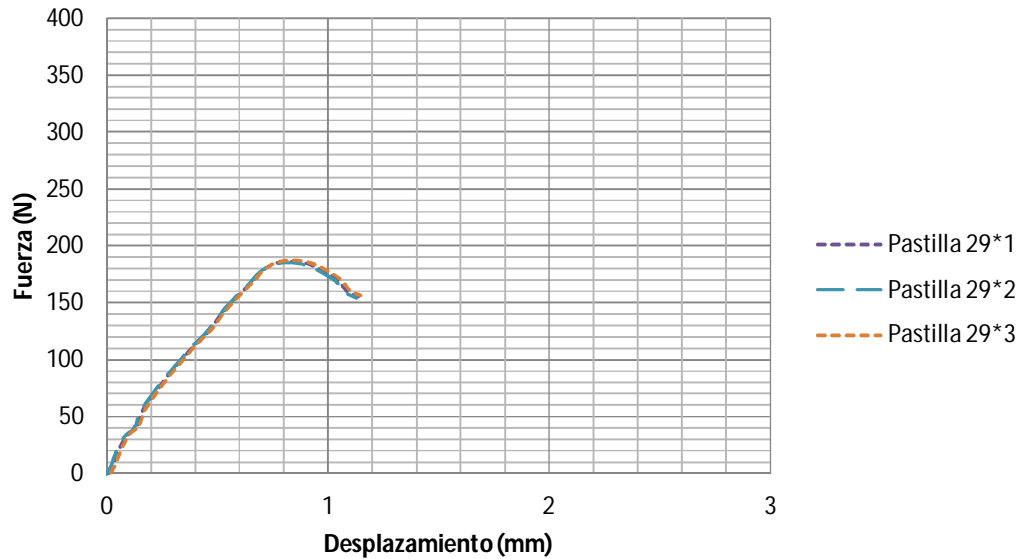


a.10 ECS60-90 (R=60.5 %) con Poreo

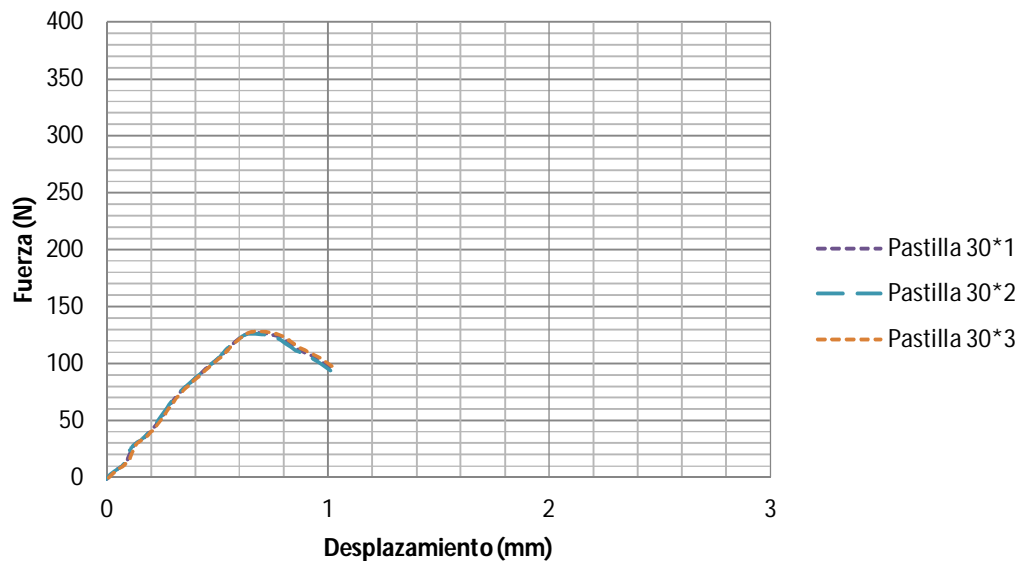
Poreo con una ECS 60-90 (R=60.5%) a Temperatura de 25°C con dosificación de 0.09 lts/m²



**Poreo con una ECS 60-90 (R=60.5%) a
Temperatura de 25°C con dosificación de
0.13 lts/m²**

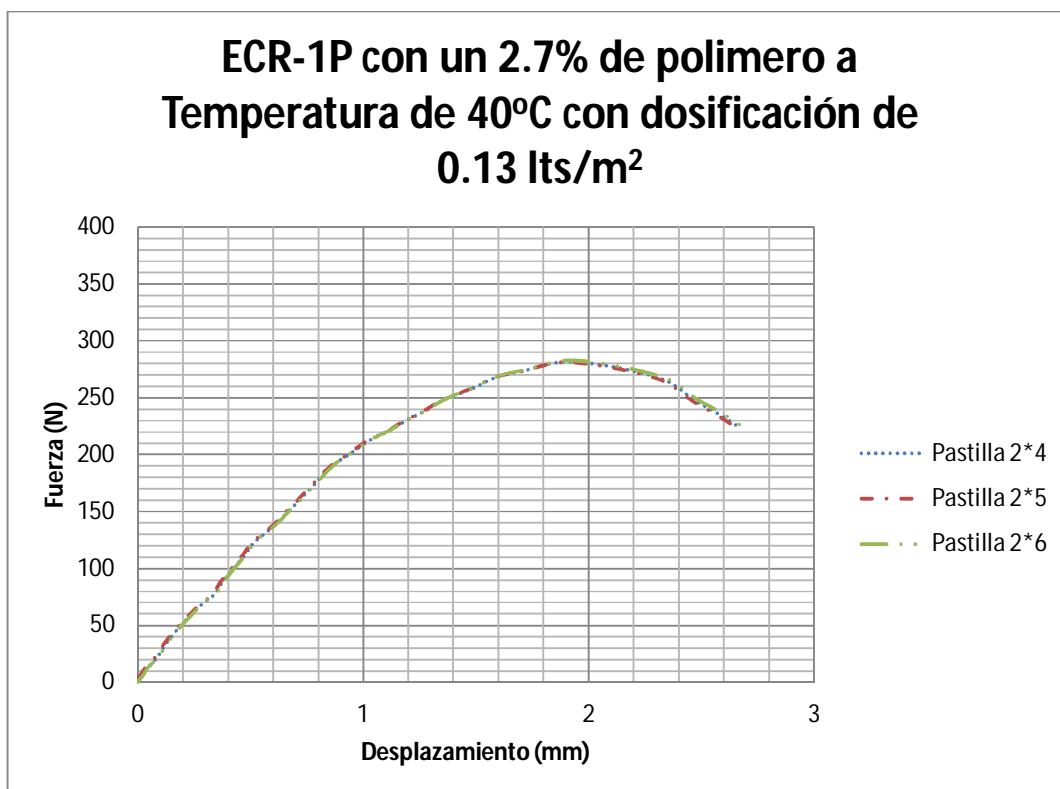
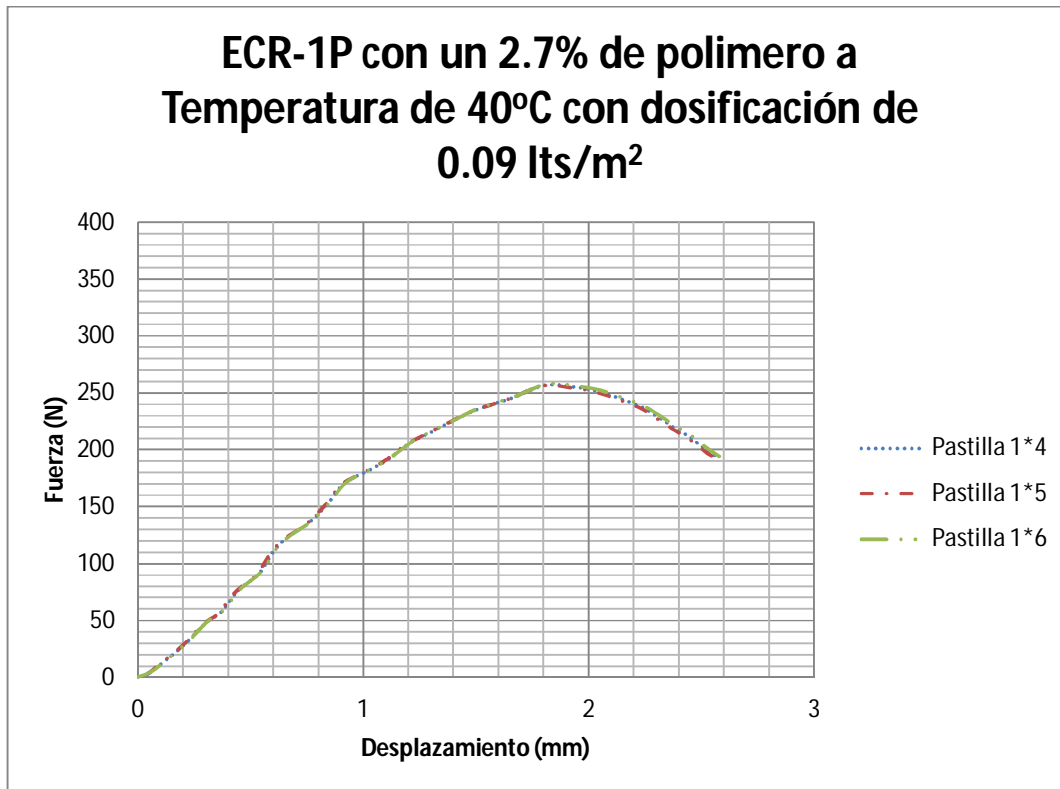


**Poreo con una ECS 60-90 (R=60.5%) a
Temperatura de 25°C con dosificación de
0.18 lts/m²**

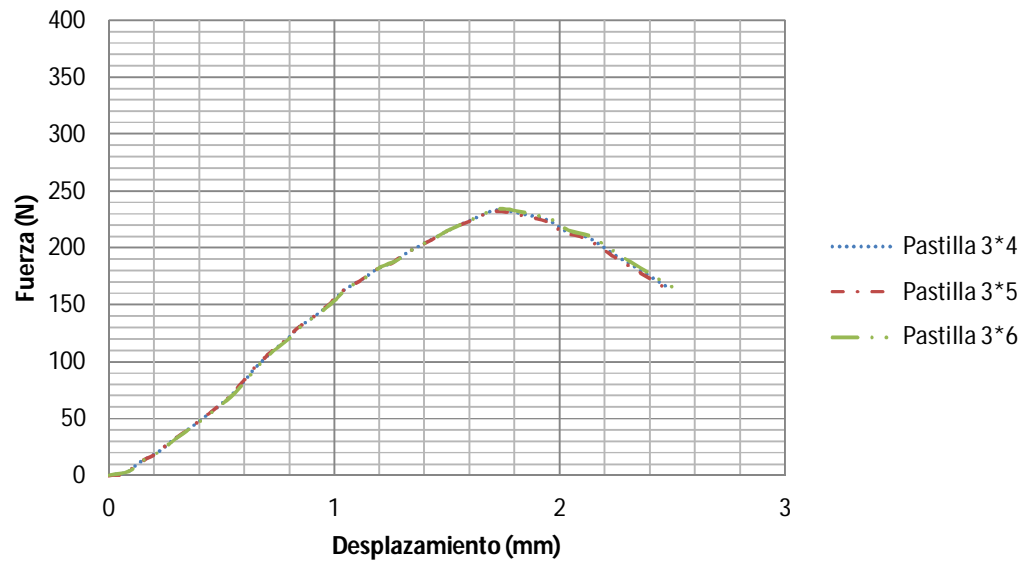


TEMPERATURA A 40°C

a.11 ECR-1P (R=65.75%) con 2.7% de Polímero

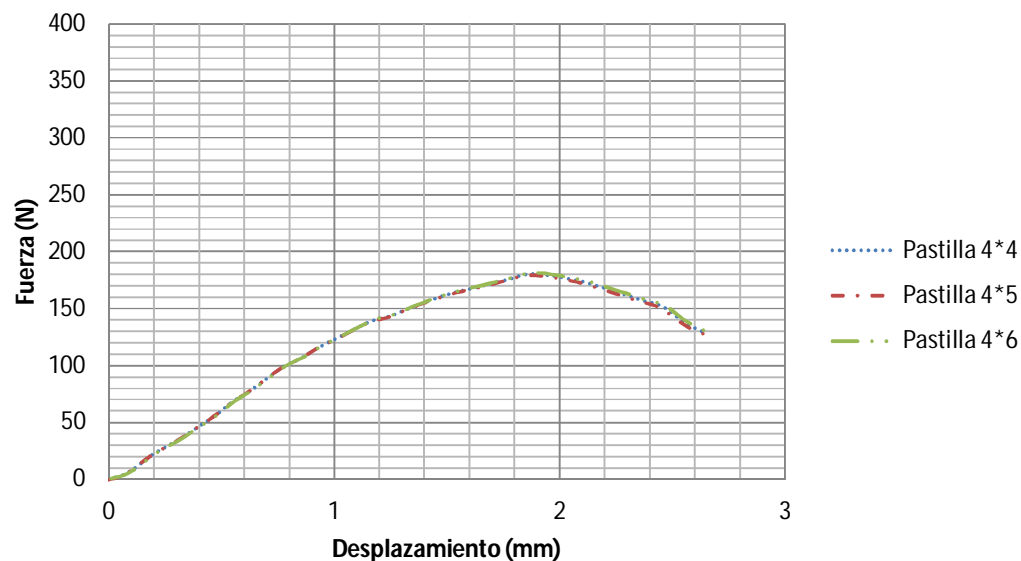


**ECR-1P con un 2.7% de polimero a
Temperatura de 40°C con dosificación de
0.18 lts/m²**

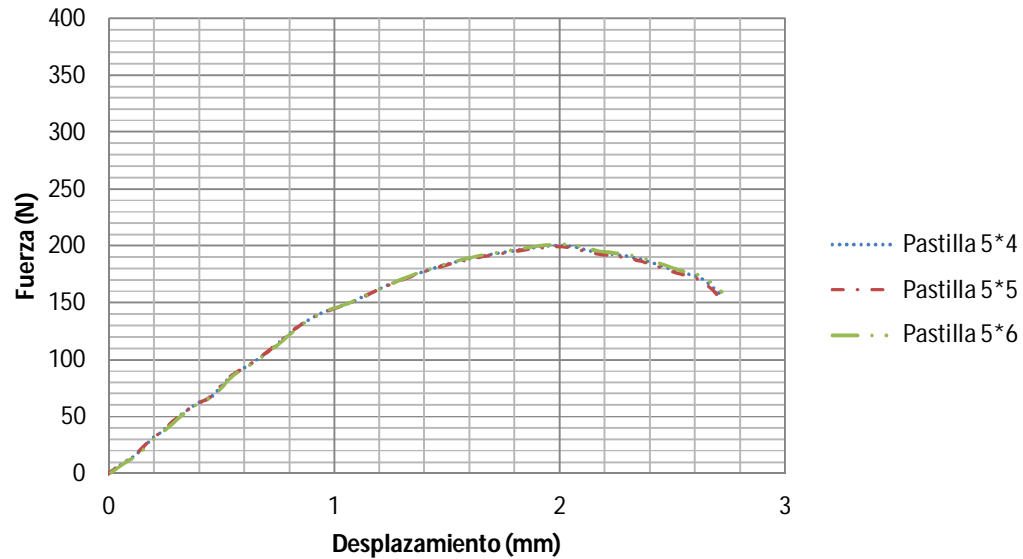


a.12 ECR-1P (R=65.60%) con 3.7% de Polímero

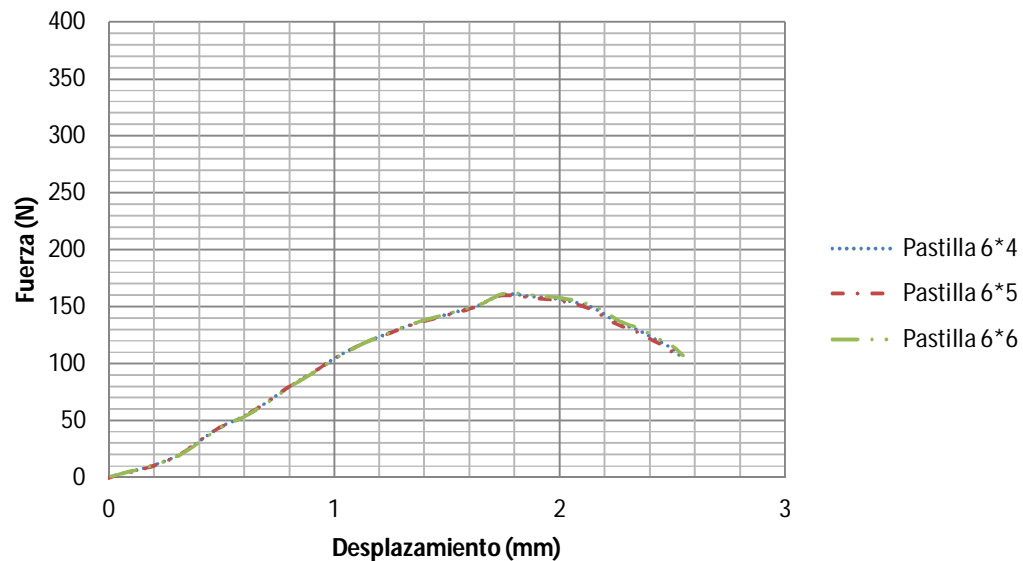
**ECR-1P con un 3.7% de polimero a
Temperatura de 40°C con dosificación de
0.09 lts/m²**



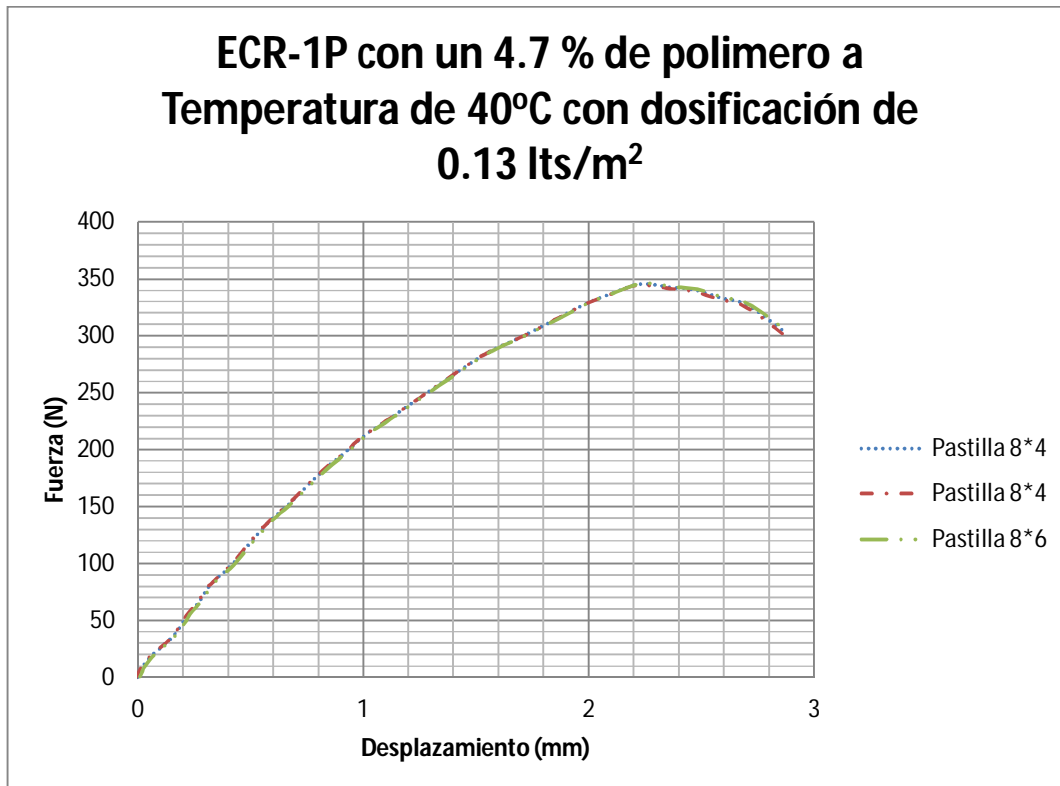
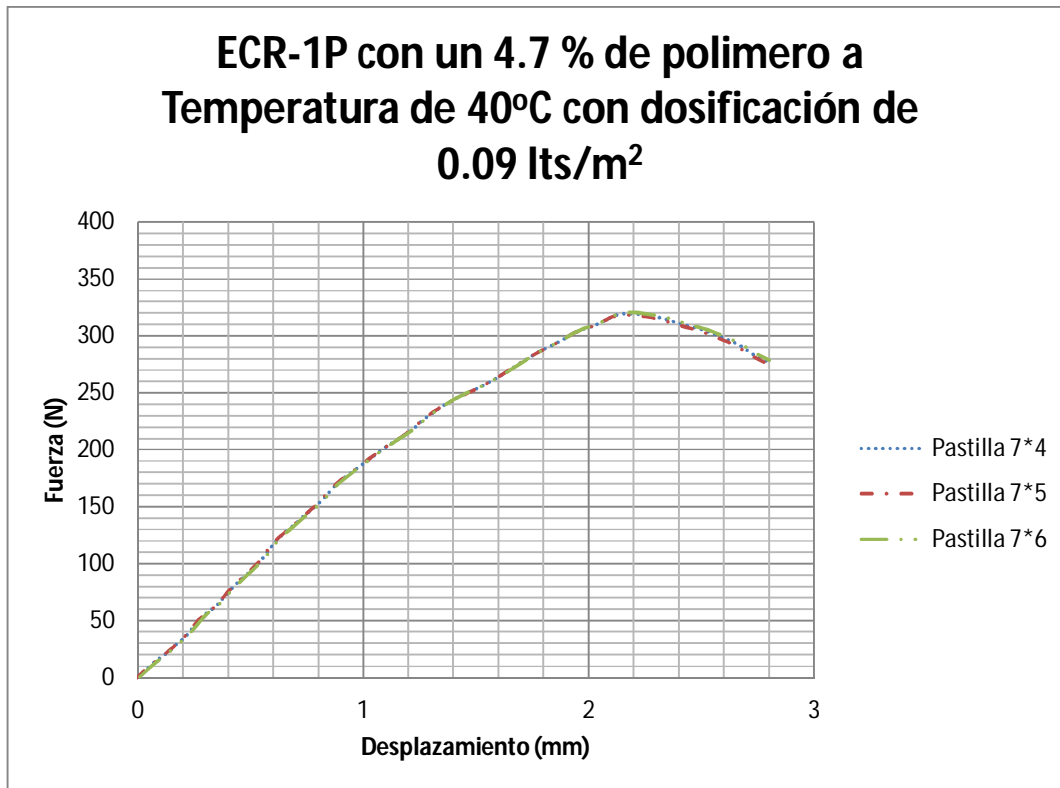
**ECR-1P con un 3.7% de polimero a
Temperatura de 40°C con dosificación de
0.13 lts/m²**



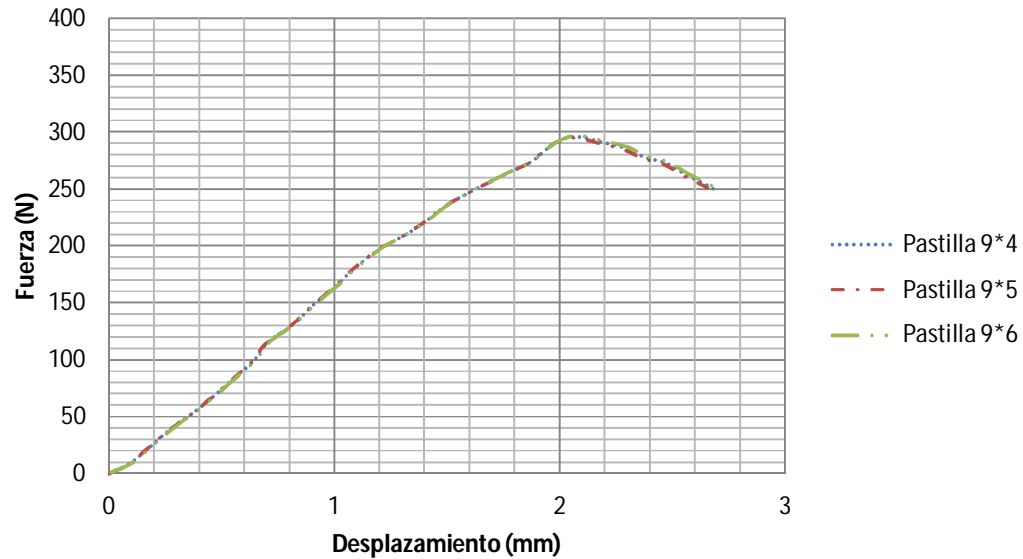
**ECR-1P con un 3.7% de polimero a
Temperatura de 40°C con dosificación de
0.18 lts/m²**



a.13 ECR-1P (R=66 %) con 4.7% de Polímero

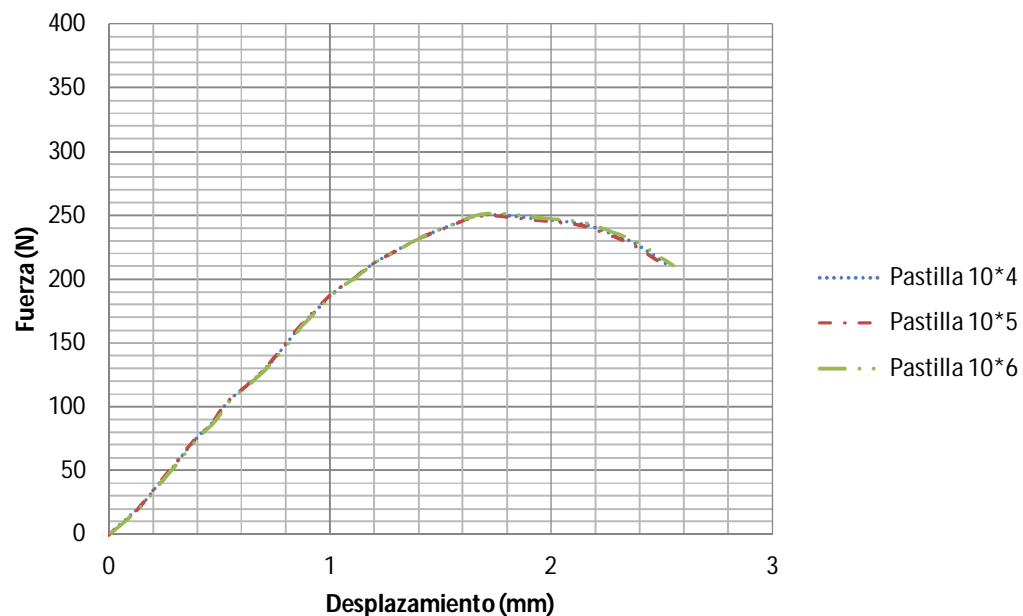


**ECR-1P con un 4.7 % de polimero a
Temperatura de 40°C con dosificación de
0.18 lts/m²**

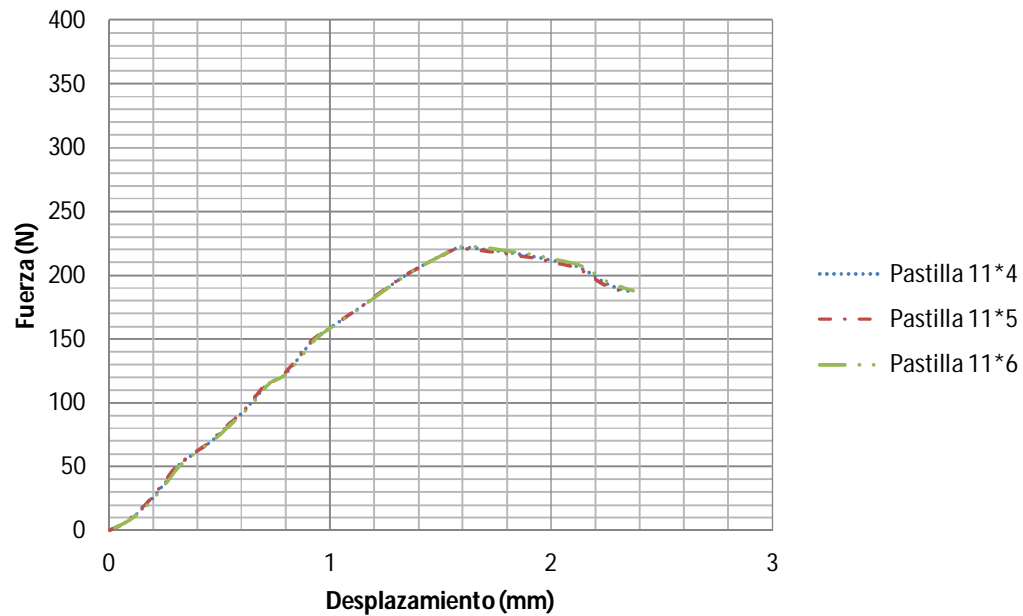


a.14 ECR60-90 (R=60.8 %)

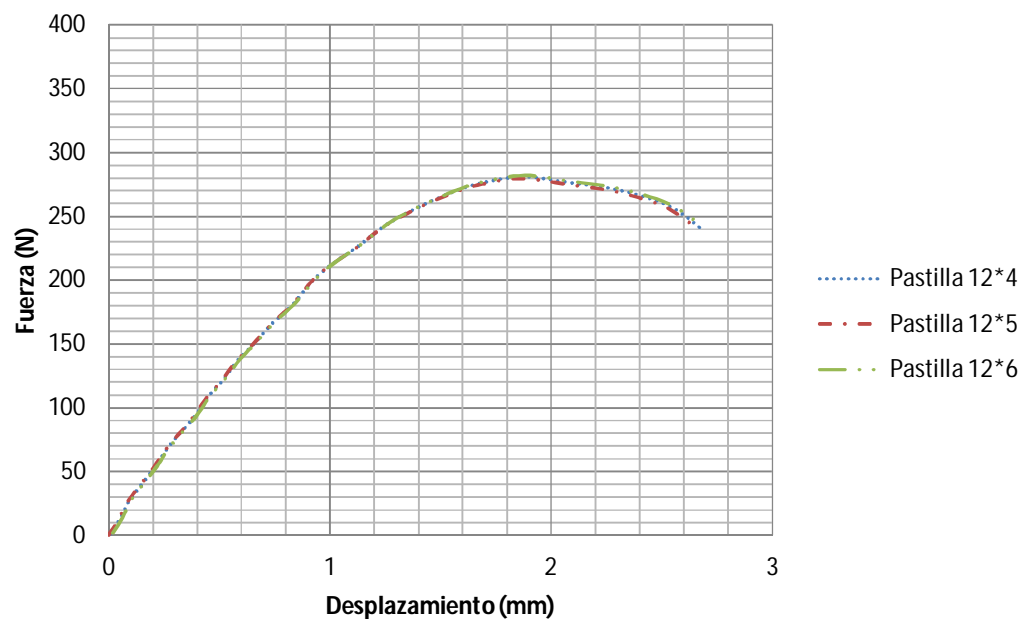
**ECR60-90(R=60.8%) a Temperatura de 40°C
con dosificación de 0.09 lts/m²**



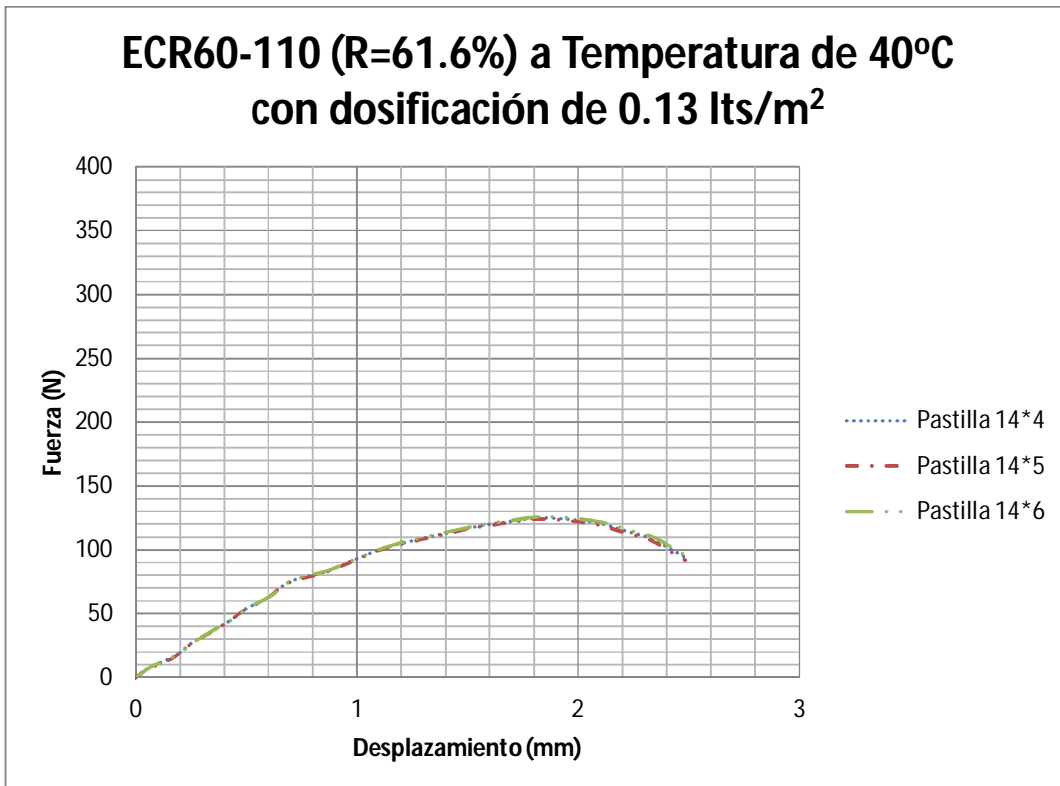
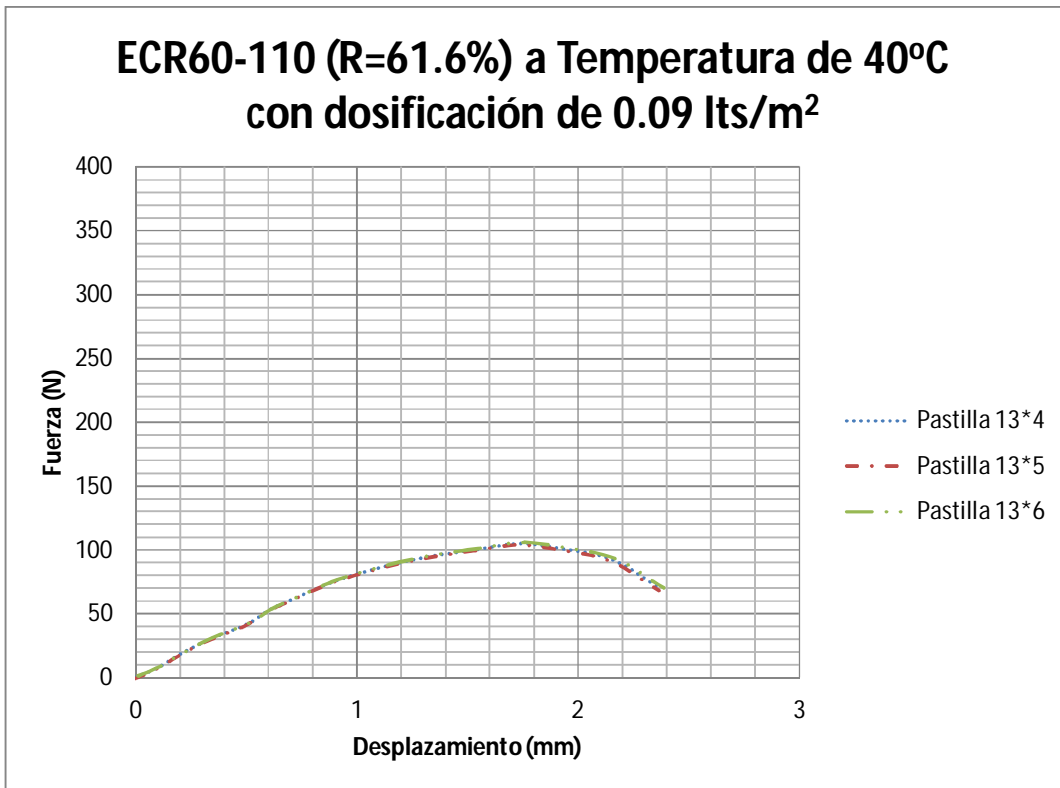
ECR60-90(R=60.8%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.13 lts/m²



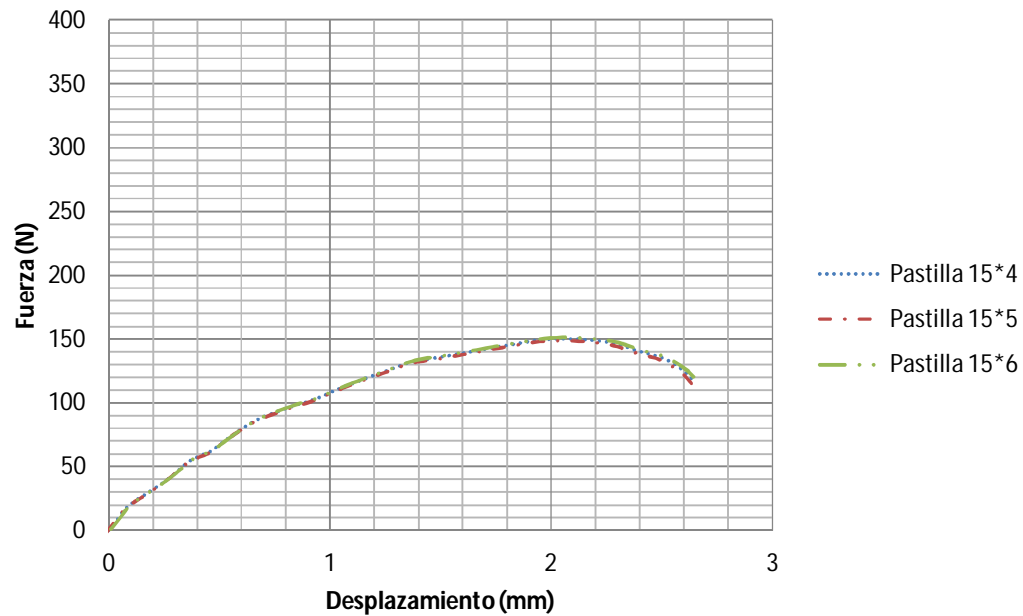
ECR60-90(R=60.8%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.18 lts/m²



a.15 ECR60-110 (R=61.6 %)

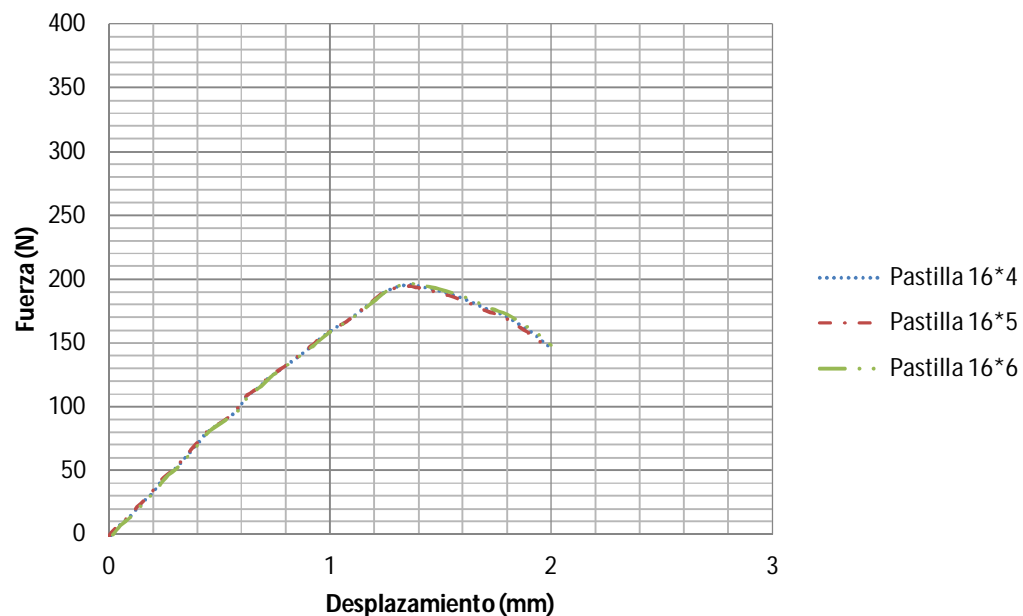


ECR60-110 (R=61.6%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.18 lts/m²



a.16 ECR-2P (R=67 %)

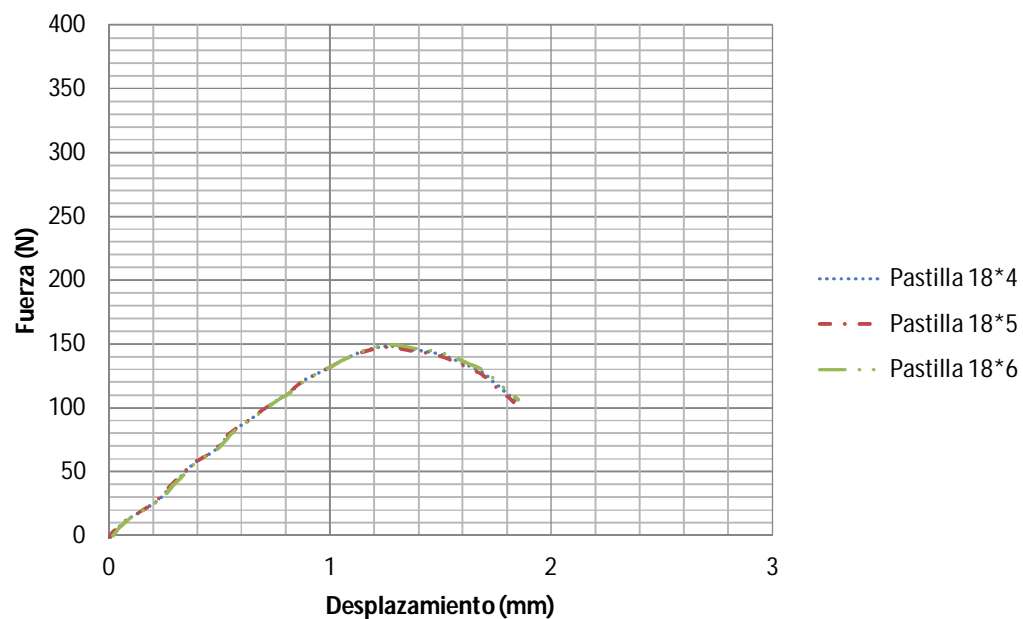
ECR-2P (R=67%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.09 lts/m²



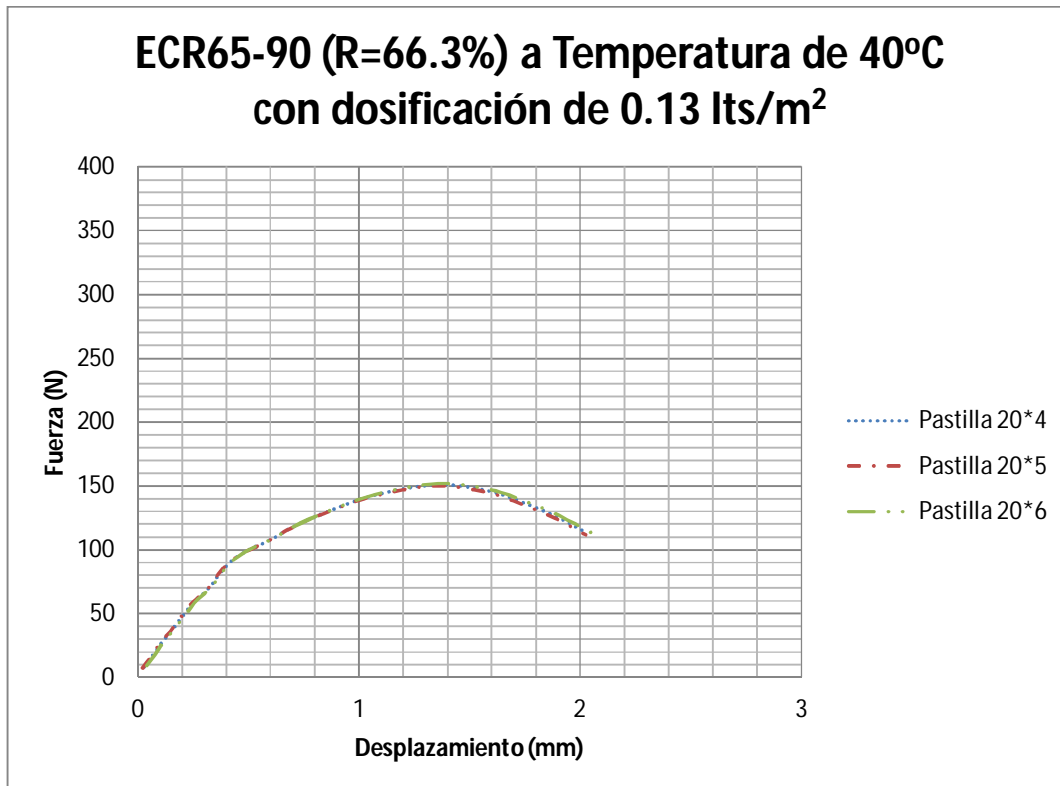
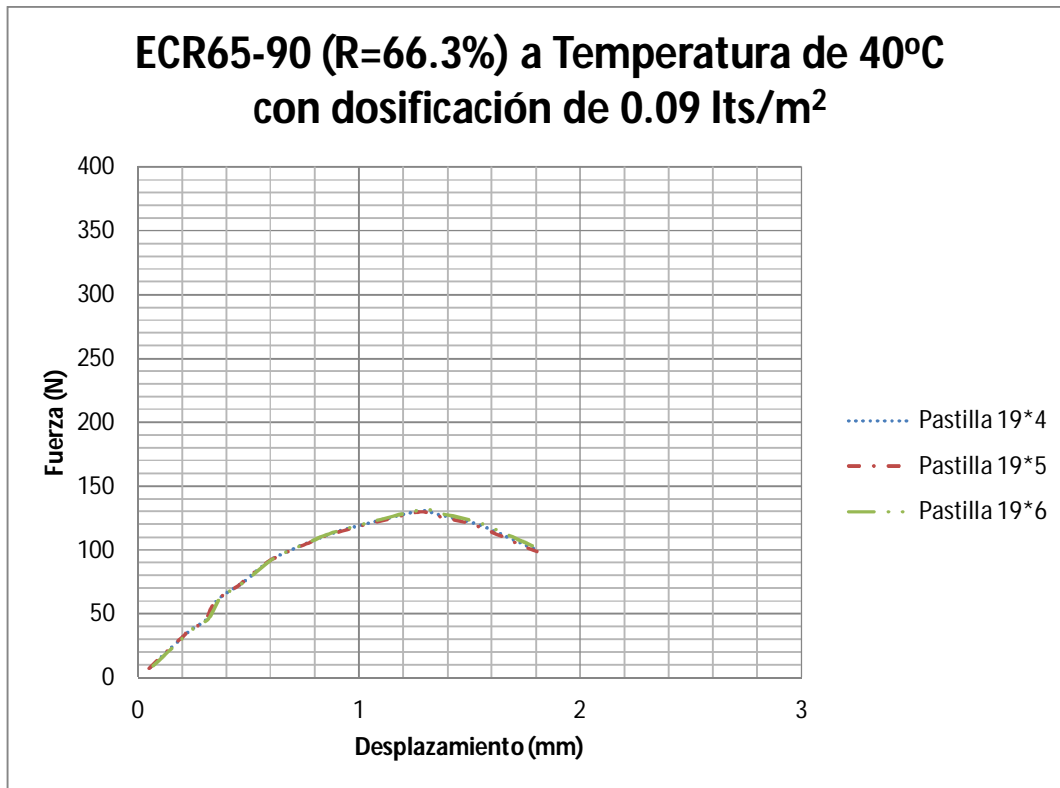
ECR-2P (R=67%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.13 lts/m²



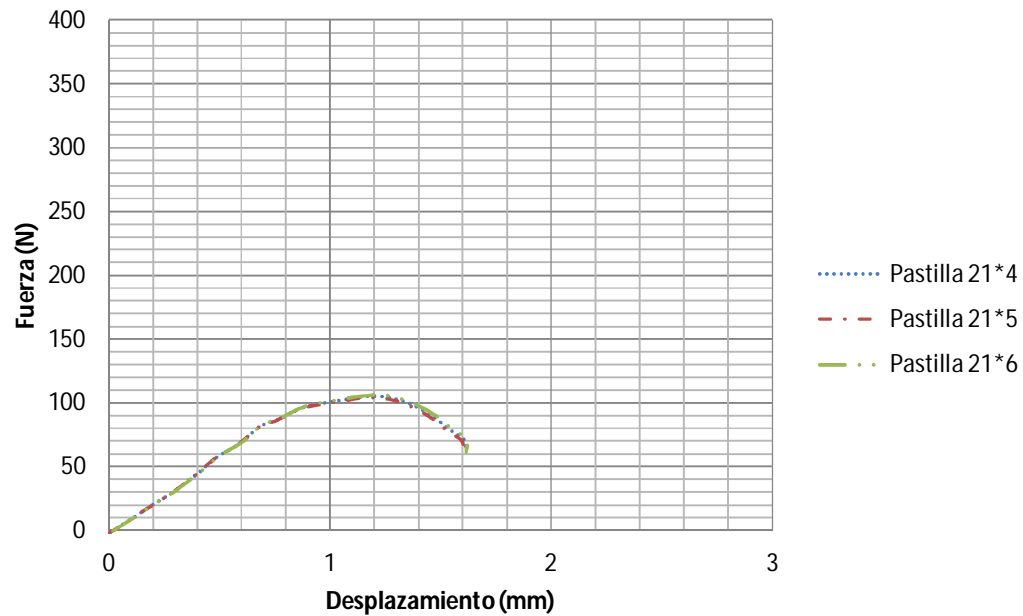
ECR-2P (R=67%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.18 lts/m²



a.17 ECR65-90 (R=66.3 %)

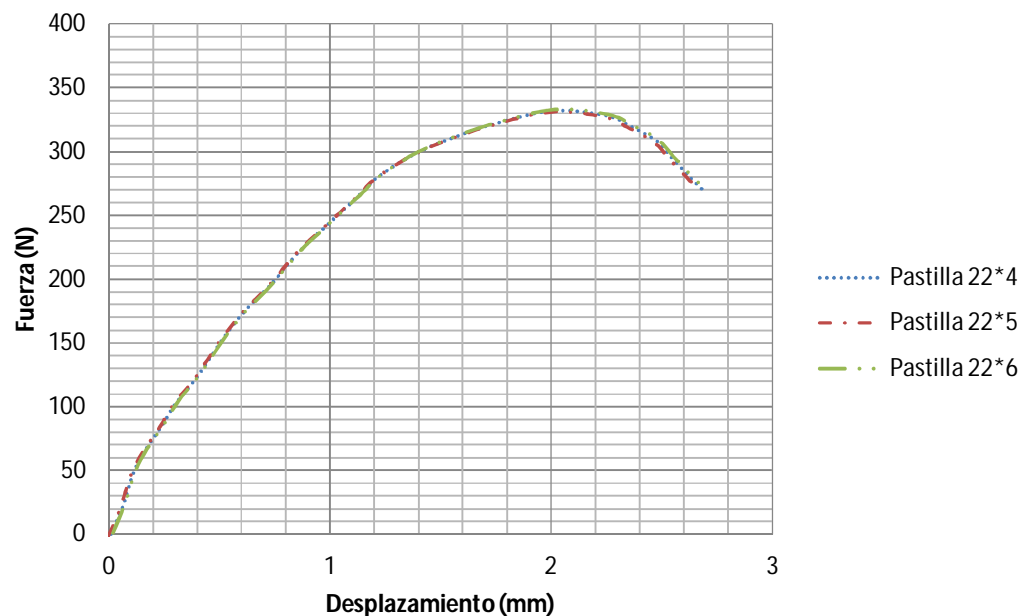


ECR65-90 (R=66.3%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.18 lts/m²



a.18 ECS60-90 (R=60.5 %)

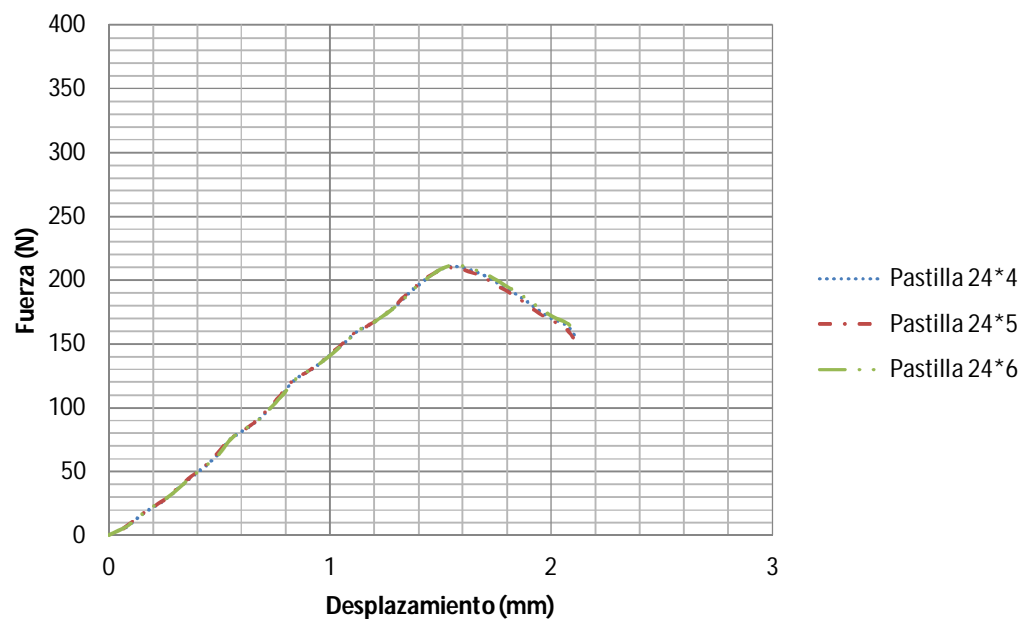
ECS 60-90 (R=60.5%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.09 lts/m²



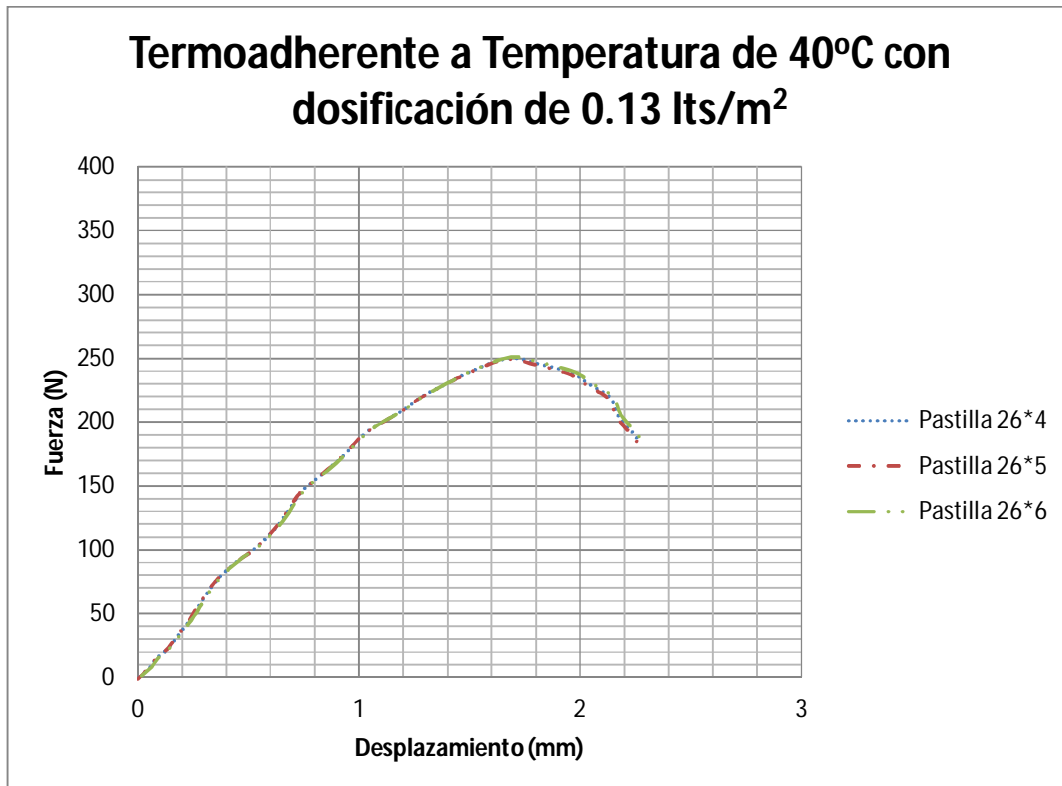
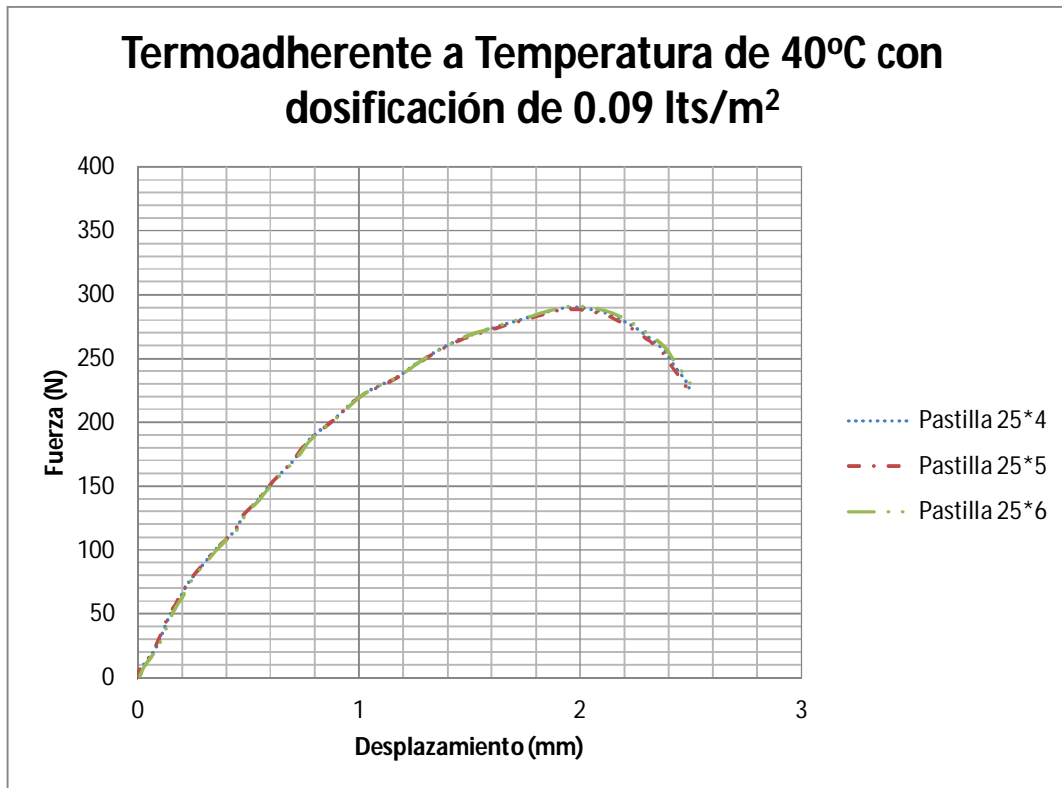
ECS 60-90 (R=60.5%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.13 lts/m²



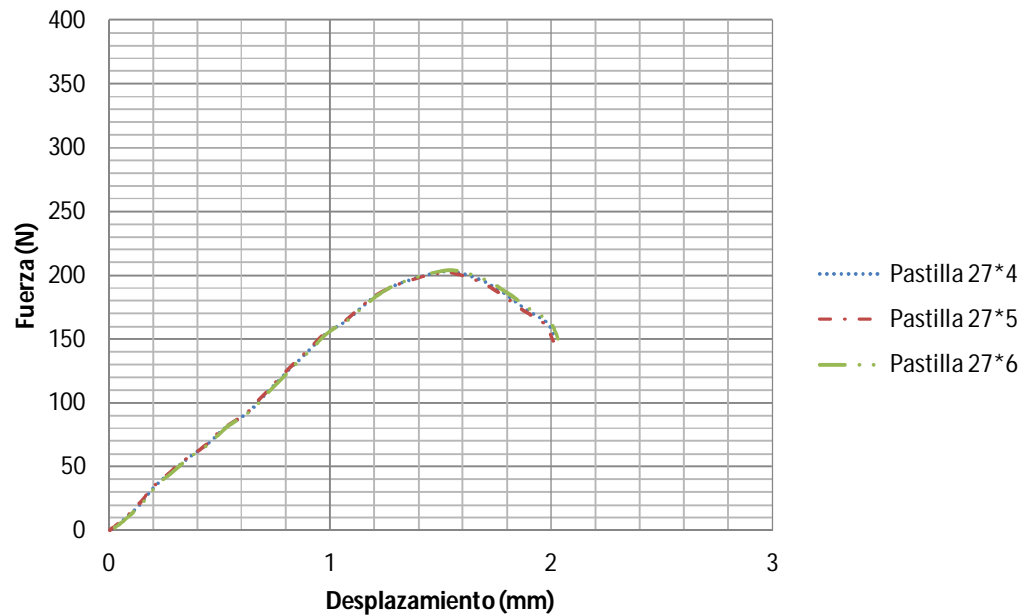
ECS 60-90 (R=60.5%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.18 lts/m²



a.19 TERMOADHERENTE

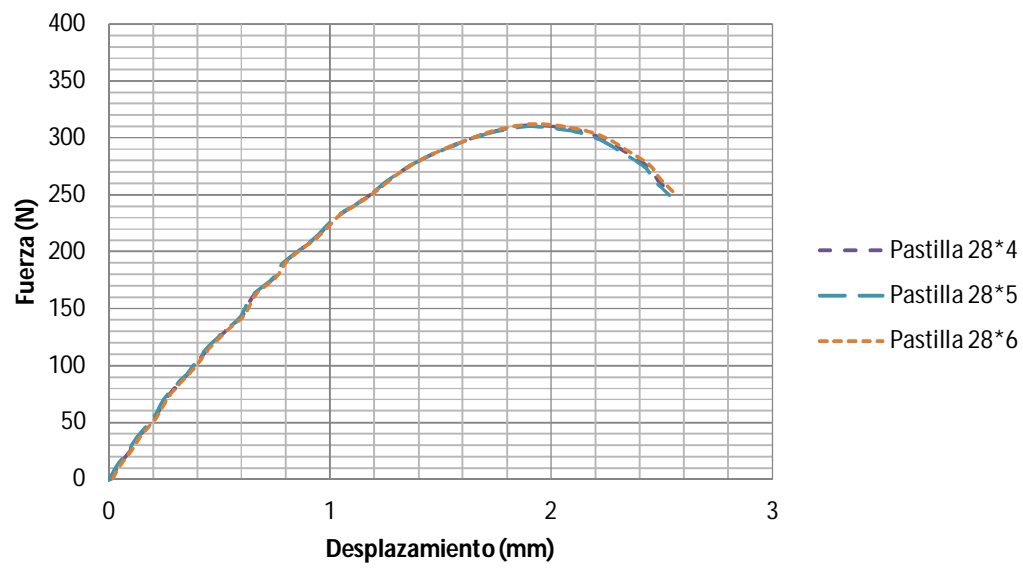


Termoadherente a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.18 lts/m²

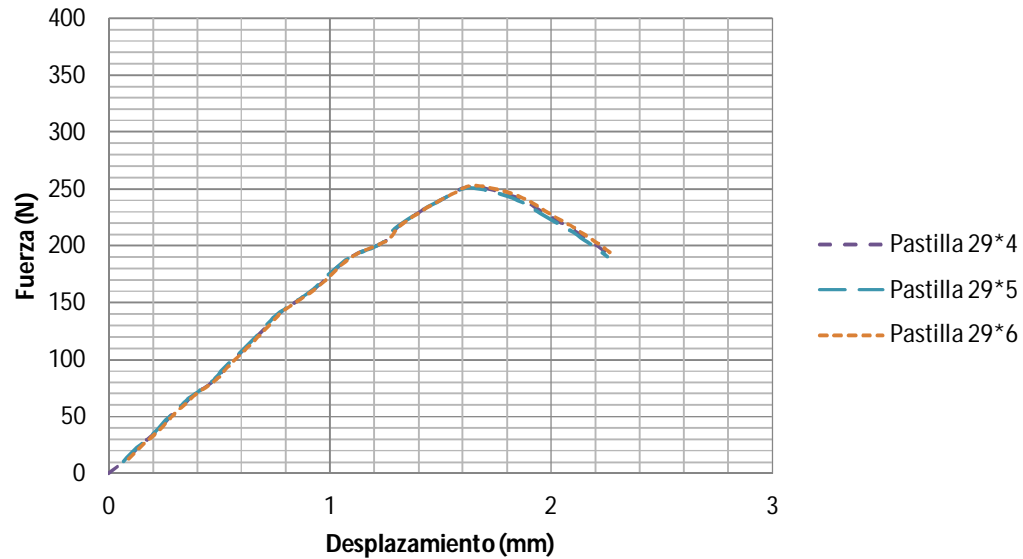


a.20 Poreo con ECS60-90 (R=60.5 %)

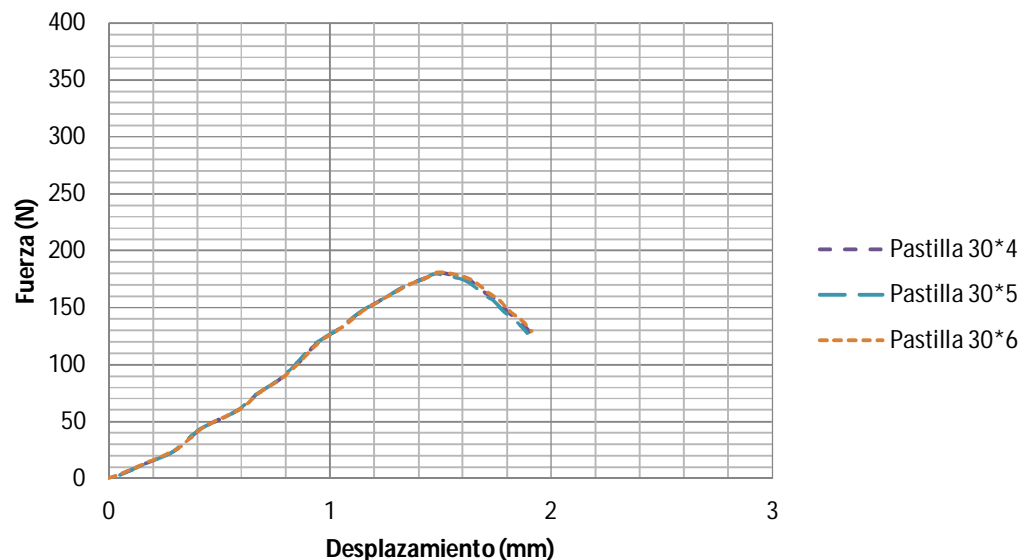
Poreo con una ECS 60-90 (R=60.5%) a Temperatura de 40°C con dosificación de 0.09 lts/m²



**Poreo con una ECS 60-90 (R=60.5%) a
Temperatura de 40°C con dosificación de
0.13 lts/m²**



**Poreo con una ECS 60-90 (R=60.5%) a
Temperatura de 40°C con dosificación de
0.18 lts/m²**



ANEXO A2

REPORTE FOTOGRAFICO



Figura a. Cribado y Lavado de material pétreo



Figura b. Dosificación de agregado pétreo y de asfalto



Figura c. Material, equipo y herramientas de laboratorio para el proceso de mezclado a temperatura de $150 \pm 5^{\circ}\text{C}$.



Figura d. Proceso de compactación por el Método Marshall



Figura e. Disposición de moldes para la colocación de mezclas asfálticas



Figura f. Mezclado y vaciado de mezcla asfáltica



Figura g. Proceso del Compactador Dinámico para placas asfálticas



Figura h. Colocación de Emulsión de acuerdo a su dosificación situada



Figura i. Distribución de mezcla asfáltica abierta sobre una mezcla asfáltica cerrada.



Figura j. Empleo de riego de liga para despues colocarle el poreo



Figura k. Obtención de Probetas



Figura l. Testigos condicionadas a temperatura de 25°C y a 40°C.



Figura m. Ensayo de Pruebas de Corte.

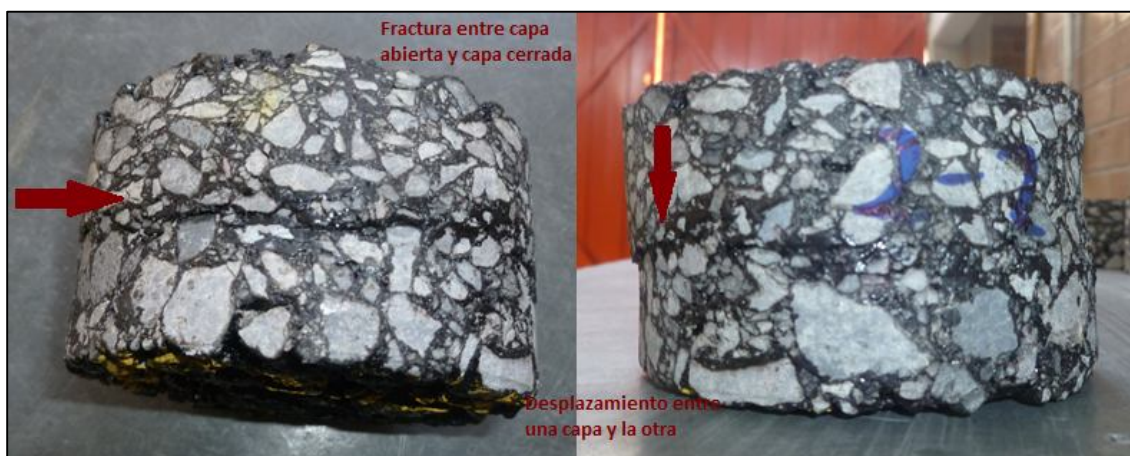


Figura n. Resultados de adherencia entre capas.