

DESEMPEÑO DE LIGANTES BITUMINOSOS UTILIZADOS COMO RIEGOS DE LIGAS 1

**DESEMPEÑO DE LIGANTES BITUMINOSOS UTILIZADOS COMO RIEGOS DE
LIGAS EN CARPETAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, EMPLEANDO LA
METODOLOGÍA DEL LCB.**

IVAN JOSE PABA MARTINEZ

FRANCISCO VASQUEZ BOLAÑOS

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

BOGOTÁ D.C.

2018

**DESEMPEÑO DE LIGANTES BITUMINOSOS UTILIZADOS COMO RIEGOS DE
LIGAS EN CARPETAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, EMPLEANDO LA
METODOLOGÍA DEL LCB.**

IVAN JOSE PABA MARTINEZ

FRANCISCO VASQUEZ BOLAÑOS

**Trabajo de grado para optar al título de
Especialista en ingeniería de Pavimentos**

Director:

Ph.D. JUAN CARLOS RUGE

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

BOGOTÁ D.C.

2018



La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación.

Director de Investigación

Asesor Metodológico

Jurado

AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por su inmensa sabiduría impartida a cada ser humano, por sus enseñanzas y
direccionamiento por el camino adecuado, a Él todo.*

*A nuestras familias, por la paciencia y comprensión; por guardar sus brazos llenos de aliento
para nosotros cada fin de semana sin importar la espera.*

*A nuestros profesores, directores de proyecto, compañeros y amigos, quienes con su respaldo
impulsan a construir valor con base en conocimiento.*

*A la industria, Doble A Ingeniería S.A, IncoAsfaltos S.A.S. e IMMAC S.A.S., por su valioso
apoyo y respaldo en el proceso investigativo.*

RESUMEN

Esta tesis de grado se enfoca en estudiar el efecto que tiene el riego de liga en el desempeño de carpetas elaboradas con mezcla asfáltica convencional y modificadas con grano de caucho reciclado GCR incorporando aditivos en la emulsión asfáltica, buscando optimizar las propiedades adherentes entre las carpetas asfálticas y promover de esta manera las buenas prácticas en el uso de riego de liga para pavimentos.

Se realizan pruebas de laboratorio, comparando dos tipos de paquetes estructurales de mezcla asfálticas típicas (base y rodadura) una con asfalto caucho y otra en asfalto convencional usando como base asfáltica una mezcla tipo MD-20 de tal manera que para diferentes tipos de emulsiones y dosificaciones se lograra obtener algún tipo de comportamiento. Si se logra comprobar que al incluir un aditivo químico en la emulsión esta mejora el desempeño, se obtendrían verdaderos paquetes monolíticos ofreciendo una mayor durabilidad de la mezcla asfáltica en el pavimento dado el aporte en comportamiento a la fatiga.

A escala de laboratorio se pudo identificar que las emulsiones asfálticas que incluyen látex o ligas de asfalto caucho ofrecen una mejor resistencia al esfuerzo cortante entre carpetas, mitigando el riesgo de falla, deterioro prematuro, costos de mantenimiento, desplazamiento de carpeta de rodadura, además la principal ventaja es la durabilidad del paquete estructural.

Palabras claves: Asfalto Caucho, riego de liga, Emulsiones, adherencia, esfuerzo de corte.

ABSTRACT

This thesis focuses on studying the effect of tack coat in the performance of binders made with conventional asphalt mix and modified with GCR recycled rubber grain incorporating additives in the asphalt emulsion, looking to optimize the adherent properties between the asphalt binders and promote in this way the good practices in the use of irrigation for pavement..

Laboratory tests are carried out, comparing two types of typical asphalt structural mix packages (base and tread) with rubber asphalt and another in conventional asphalt using asphaltic base a MD-20 type mixture in such a way that for different types of emulsions and dosages will achieve some kind of behavior. If it is possible to verify that by including a chemical additive in the emulsion this improves performance, true monolithic packages would be obtained, offering greater durability of the asphalt mixture in the pavement given the contribution in fatigue behavior.

At a laboratory scale it was possible to identify that asphalt emulsions that include latex or directly asphalt rubber irrigations offer a better resistance to shear between folders, mitigating the risk of failure, premature deterioration, maintenance costs, rolling folder displacement, The main advantage is the durability of the structural package.

Keywords: Asphalt Rubber, Tack coat, Emulsions, adhesion, shear stress.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCION	10
2.	GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO.....	11
2.1.	Línea de investigación	11
2.2.	Planteamiento del problema.....	11
2.2.1.	Antecedentes del problema.....	11
2.2.2	Pregunta de investigación.....	12
2.3.	Justificación.....	13
2.4.	Objetivos	14
➤	Objetivo General.....	14
➤	Objetivos Específicos.....	14
2.4	Alcance.....	15
2.5	Limitaciones.....	15
3	MARCOS DE REFERENCIA.....	16
3.1	Marco de Antecedentes.....	16
3.2	Marco conceptual.....	19
5	METODOLOGÍA.....	29
➤	Etapa 1: Revisión de literatura.....	29
➤	Etapa 2: Caracterización físico-química de las emulsiones asfálticas comerciales....	29

➤	Etapa 3: Diseño de probetas de prueba.....	29
➤	Etapa 4: Evaluación del desempeño de las mezclas asfálticas diseñadas.....	30
➤	Etapa 5: Análisis de los resultados del desempeño.	30
6	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	31
7	RESULTADOS.....	37
	7.1 Parámetros de control de Diseño Marshall.	40
	7.2 Caracterización del asfalto caucho.....	41
	7.3 caracterización de las emulsiones asfálticas.	41
	7.4 Resultados de esfuerzo de corte.....	43
8.	CONCLUSIONES	49
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

1. INTRODUCCION

Los concretos asfálticos son materiales ampliamente conocidos al ser utilizados como carpetas de rodadura o bases asfálticas. La calidad del pavimento, el confort que brinda al usuario y su ágil apertura al tráfico, permiten que hoy en día sea la metodología más usada en la construcción de carreteras a nivel mundial.

Dentro del proceso constructivo de los pavimentos asfálticos existe un procedimiento muy importante que ha sido hoy por hoy olvidado por completo en los métodos de diseño y es la aplicación del riego de liga o “tack coat” proceso que se lleva a cabo haciendo uso de una emulsión asfáltica, usada para asegurar una buena adherencia entre la superficie existente y una nueva aplicación de asfalto” (Asphalt Institute, 2008, pág. 83), este proceso es de gran importancia debido a que una mala ejecución o una dosis inadecuada puede influir en una falla prematura de del paquete estructural.

Con el presente estudio se pretende mirar el efecto de diferentes tipos de aditivos incorporados en emulsiones de rotura rápida para riegos de liga y poder evaluar el efecto resultante en la calidad de la adherencia entre carpetas de mezclas asfálticas, dicha información nos permitirán orientar recomendaciones al sector de la construcción. Las mezclas usadas para los estudios corresponden a materiales obtenidos en zonas muy cercanas a la ciudad de Bogotá D.C.

2. GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO.

2.1. Línea de investigación

Asfaltos modificados

2.2. Planteamiento del problema.

2.2.1. Antecedentes del problema.

El diseño del riego de adherencia en nuestro país ha sido olvidado por completo dentro del proceso constructivo de mezclas asfálticas en caliente, ignorando que una mala aplicación de la liga puede interferir en gran medida para la falla prematura de un pavimento. En Colombia la aplicación del riego de liga se halla normado por el instituto nacional INVIAS bajo el artículo 421-13 en él, se describe detalladamente las actividades para aplicar de manera exitosa un riego de liga aplicando una emulsión CRR-1 o CRR-2 o CRR-1m o CRR-2m previa a la colocación de una capa de mezcla asfáltica sobre una carpeta existente.

En la práctica es bastante frecuente encontrar errores en el proceso constructivo de sobrecarpetas de mezcla asfáltica con este tipo de aplicaciones, entre ellos: bajas dosis de asfalto, riego poco uniformes en la superficie por adherir, excesos de ligante asfáltico entre carpetas, transferencia del ligante asfáltico en las llantas de volquetas, falta de ligante, aplicación de mezclas con tiempos de rotura de la emulsión inadecuados (Asphalt Magazine, 2015), entre otros problemas constructivos que inciden directamente en las propiedades de adherencia del riego de liga sobre las capas que se desean ligar.

Cuando ocurren los problemas antes mencionados tenemos un alta probabilidad de que la estructura no actué como una verdadero paquete monolítico situación que cambia las condiciones de diseños de los pavimentos debido a que los cálculos estructurales para los distintos

componentes del pavimento se realiza suponiendo que existe una perfecta adherencia entre las distintas capas, situación que resulta no siendo cierto

Para dar solución a los diseño de riegos de liga se han desarrollado a nivel mundial diferentes metodologías de laboratorio; mas sin embargo hasta ahora no existen criterios unificados sobre las condiciones sobre los requerimientos mínimos de cumplimiento ni la estandarización para lograr hablar en un mismo lenguaje el fenómeno de adherencia entre capas.

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

El proceso de colocación de la mezcla asfáltica aún puede incluir mejoras en la aplicación del riego de liga con el fin de obtener pavimentos mucho más durables y principalmente para mostrarse como una alternativa de diseño que permite a los constructores definir óptimos de aplicación que garantizan un mejor desempeño en los pavimentos.

2.2.2 Pregunta de investigación.

La pregunta de investigación corresponde si en términos técnicos ¿Cómo se pueden mejorar los riegos de liga con el fin proveer una mejor calidad en la adherencia de capas de pavimentos asfálticos?

2.3. Justificación.

Se justifica profundizar en la propuesta de un diseño del riego de adherencia por las siguientes razones:

La normatividad colombiana propone un rango de tasas de aplicación de 200 a 300 gramos de asfalto residual, es muy ambiguo el parámetro de dosificación para quien ejecuta una aplicación de riego de liga conllevando a ignorar los efectos de la superficie de la carpeta a ligar.

Realizar una investigación de la evaluación del contenido óptimo de asfalto residual en el riego de liga que garantice la mayor adherencia entre capas asfálticas en caliente para un proyecto determinado, para ello se utilizará el método de resistencia al corte por cizallamiento que propone La Universidad de Cataluña España, Universidad NCAT, Universidades de Colombia Donde, siguiendo un procedimiento metodológico de ensayo, se ha logrado evaluar diferentes tipos de emulsiones asfálticas, así como las diferentes dosis que proporcionan la mejor adherencia entre las capas del pavimento.

Se utilizará una prensa hidráulica Marshall que es un equipo muy común entre los constructores, con un molde específicamente diseñado que se coloca en posición horizontal y que se somete a una carga de corte por cizalla cuyo resultado dará idea del comportamiento de la calidad de la liga.

Dada la importancia que tiene la adherencia entre capas de pavimentos, los constructores tendrían un criterio de fondo para realizar la correcta elección de una emulsión asfáltica para sus obras, aportando a la sociedad en general que se vería beneficiada en tener estructuras verdaderamente monolíticas de muy buen confort y larga durabilidad que proporcionarían al tener un diseño óptimo de ligante.

2.4. Objetivos

➤ Objetivo General

El objetivo de este proyecto de investigación es determinar por medio de ensayos de laboratorio de resistencia al corte por cizallamiento el desempeño de riegos de liga usando la metodología LCB.

➤ Objetivos Específicos.

- Diseñar diferentes emulsiones asfálticas (CRR-1, CRR-1 modificada con polímeros, CRR-1 con Mejorador de adherencia, CRR-1 diluida en agua 1:1) y un ligante modificado con GRC específicos para adherir capas de pavimento siguiendo la normatividad INVIAS art 421/13.
- Realizar la fabricación de especímenes representativos de mezclas asfálticas de granulometría densas MD-20, MD-12 y MGCR-19 con el fin de adherir entre ellas.
- Determinar el esfuerzo cortante para las diferentes combinaciones de mezclas adheridas y ligantes empleando la metodología del LCB.
- Comparar el comportamiento de las diferentes combinaciones, para verificar si las dosis y los aditivos incorporados repercuten en el desempeño de adherencia.

2.4 Alcance

Se evaluará, el contenido óptimo y tipo de ligante asfáltico que garantice la mejor adherencia entre carpetas asfálticas nuevas mediante el ensayo de resistencia al corte por cizallamiento haciendo uso de una prensa Marshall.

Se evaluará la influencia de los ligantes asfálticos para adherir diferentes granulometrías de las mezclas asfálticas en caliente, cuyos diseños de mezcla serán entregados por doble A ingeniería S.A.

Se conocerá el tipo y tasa de emulsión bituminosa que garantice la mejor adherencia entre carpetas asfálticas, que será aquella que nos de la mayor resistencia al esfuerzo cortante.

2.5 Limitaciones

El método de aplicación está limitada disponibilidad del laboratorio donde realizaríamos las pruebas de compactación de mezcla asfáltica para realización de los ensayos.

No se realizaran pruebas entre mezclas asfálticas y bases granulares.

No se realizaran pruebas entre mezclas asfálticas de superficie fresada.

3 MARCOS DE REFERENCIA.

Nuestro país cuenta actualmente con unos planes de inversión en el sector de construcción bastantes agresivos, buscando principalmente desarrollar modelos que contribuyan a lograr mejores indicadores de desempeño logísticos propendiendo por la mejora en la competitividad de las regiones. Dichos modelo está basados en desarrollo de proyectos de infraestructura vial que permitan una mejor movilidad buscado el crecimiento de la economía una vez se logre la mejora de eficiencia de las cadenas de suministros. Este crecimiento automáticamente genera un aumento del flujo vehicular y por consiguiente se exigirán cada vez más de paquetes estructurales que garanticen un mejor desempeño y mayor duración en el tiempo, razón por la cual debemos aportar con el fin de propender en una búsqueda de soluciones efectivas a la hora de construir.

3.1 Marco de Antecedentes.

A continuación, se presenta un resumen de diferentes fuentes que tratan de establecer alguna relación con nuestro proyecto grado, relacionando de una u otra manera estudios con diferentes metodologías asociando las variables de mayor influencia en la calidad de la adherencia:

(Sangiorgi , Collop,, & Thom. , 2002) Utilizaron el “Leutner shear test” para simular diferentes condiciones superficiales con riegos de liga. Tres diferentes condiciones fueron probadas:(1) superficies con emulsión de riego de liga, (2) superficie contaminado por suciedad y sin emulsión de riego de liga, y (3) con emulsión de riego de liga y una fina película de suciedad. Los resultados indicaron que la mejor fuerza de unión se logró con la superficie preparada usando

una capa de emulsión de riego de liga, mientras que las condiciones en las superficies contaminadas y no ligadas mostraron pésimos resultados.

(Uzan, Livneh, & Eshed, 1978). Utilizaron el análisis matemático para demostrar que las distribuciones de esfuerzos en las interfaces de capa son afectadas por condiciones de interfaz y que un débil enlace de interfaz entre las capas del pavimento podría dar lugar a grietas en forma de medialuna en la superficie.

(Hongduo, Jianfeng, & Zheng, 2017) Evaluaron diferentes parámetros para determinar la influencia en el desempeño de adherencia, Los resultados concluyeron que la textura de la superficie tiene la influencia más significativa en la resistencia al cizallamiento entre carpetas así como también el riego de liga, la humedad y la temperatura le siguen posteriormente. Se comprobó que La textura rugosa de la superficie, ayuda a aumentar la adherencia entre la capas de las capas así como también se demuestra que el asfalto diluido es menos conveniente como riego de liga en comparación con el asfalto emulsionado. Además, la baja temperatura y la condición seca también pueden mejorar el desempeño de cizallamiento entre capas.

(Hachiya & Sato, 1997) Demostraron a través de ensayos de corte y de tensión que de varias emulsiones catiónicas de asfaltos y emulsiones de asfalto caucho probadas concluyeron que (a) a 0°C las emulsiones realizadas con asfalto caucho proveen la más alta resistencia al esfuerzo cortante entre 7 emulsiones evaluadas, (b) a 40° C las emulsiones eran igualmente efectivas y (c) la tasa optima de aplicación es de 0,04 gal/yd².

(Mohammad, Raqib, & Huang, 2002) Evaluó el efecto de seis tipos de riegos de liga con diferentes tasas de aplicación evaluando sobre la fuerza de adhesión usando un dispositivo de corte directo “Superpave Shear Tester” (SST). En este estudio se evaluaron

cuatro emulsiones (CRS-2P, SS-1, CSS-1 y SS-1h y dos ligantes asfálticos (PG 64-22 y PG 76-22) en las siguientes tasas de aplicación 0.00, 0.02, 0.05, 0.10 y 0.20 gal / yd².

Los resultados de la prueba de corte directo indicaron que la emulsión CRS-2P produjo la mayor resistencia al corte de la interfaz entre los seis materiales evaluado y fue identificado como el mejor riego de liga en el estudio de adherencia a una tasa de aplicación óptima de 0.02 gal / yd².

(West, Zhang, & Moore, 2005) llevaron a cabo un nuevo estudio en el (NCAT) “the National Center for Asphalt Technology” los resultados de este estudio se usaron para seleccionar el mejor riego de liga y la tasa de aplicación. En el laboratorio se evaluaron dos tipos de emulsiones (CRS-2 y CSS-1) un asfalto (PG 64-22) usando tres tasas de aplicación (0,02, 0,05 y 0,08 gal/yd²) en conjunto con dos tipos de mezclas de granulometría fina y otra gruesa. La resistencia al corte fue medida utilizando especímenes de superpave a tres temperaturas (10°C, 25°C y 60°C) y tres distintas presiones (0psi, 10 Psi y 20 psi), de este estudio se pudo comprobar que conforme la temperatura aumenta, las resistencias disminuyen en todos los materiales utilizados como riego. El asfalto PG 64-22 mostro mejor desempeño que las dos emulsiones, especialmente para la mezcla fina evaluada a la mayor temperatura. Para las tasas de aplicación evaluadas, los riegos de liga con las tasas más bajas mostraron un mejor desempeño para las mezclas finas. En contraste para las mezclas gruesas el desempeño no vario significativamente en función de las tasas de aplicación. Finalmente cuando los especímenes fueron evaluados a altas temperaturas, la resistencia del riego de liga aumento cuando cuando la fuerza normal se incrementó; sin embargo para las otras temperaturas no se observó el efecto de la resistencia del riego de liga al variar la fuerza normal aplicada.

3.2 Marco conceptual.

Buscando la manera de poder penetrar dentro de las buenas prácticas hacia el sector de la infraestructura propendemos impulsar el riego de liga desde el punto de vista técnico como una aplicación de elevada importancia dentro del proceso constructivo del pavimento.

Riego de liga

El riego de adherencia o “riego de liga”, se define según “la norma ASTM D-8 como una es una aplicación de material bituminoso sobre una superficie existente no adsorbente para proveer una liga entre la superficie vieja y nueva” (ASTM-D-8, 2004).

Figura 1. Aplicación de riego de liga en proceso de parcheo con emulsión CRR-1.



Fuente: elaboración propia.

De manera general los cementos asfálticos en caliente, asfaltos emulsionados y asfaltos rebajados son usados como materiales de riego de liga, pero dentro de estas categorías sobresalen las emulsiones asfálticas por diversas ventajas frente a los demás productos, como por ejemplo son usadas a temperatura ambiente, (Asphalt Institute, 1989).

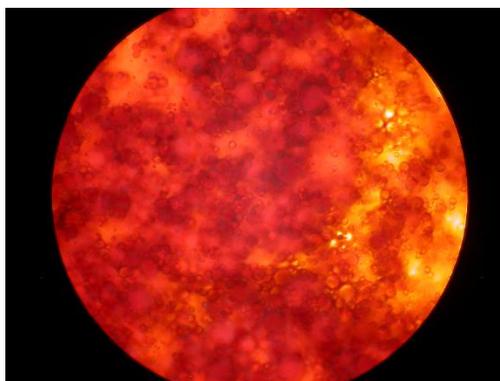
Emulsión asfáltica

Las emulsiones de asfalto tipo catiónicas han venido adaptando de la normativa americana para diferentes usos en el sector de pavimentos y actualmente sus características están especificadas en la norma donde se reconocen siete tipos de emulsiones (ASTM D 2397, 2005).

Las mismas “se define en términos de tres componentes básicos: asfalto, agua y agente emulsificante” (Asphalt Institute, 2008, pág. 5) de tal manera que se logra una dispersión fina del asfalto en el agua aun cuando estos son de diferente naturaleza polar y son no miscible entre sí.

La dosificación de una emulsión para la colocación de sobrecapas será variable dependiendo de diferentes condiciones. La normatividad INVIAS establece una dosis estándar entre 0,3 y 0,5 litros por metro cuadrado de material de liga o según defina el interventor (INVIAS, 2013). Las siguientes microfotografías muestran como están distribuidos los glóbulos de asfalto dentro de una emulsión CRR-1 convencional.

Figura 2. Microfotografía de emulsión asfáltica CRR-1 convencional con asfalto 60/70 al microscopio de luz visible a 100 X en fase de rotura.

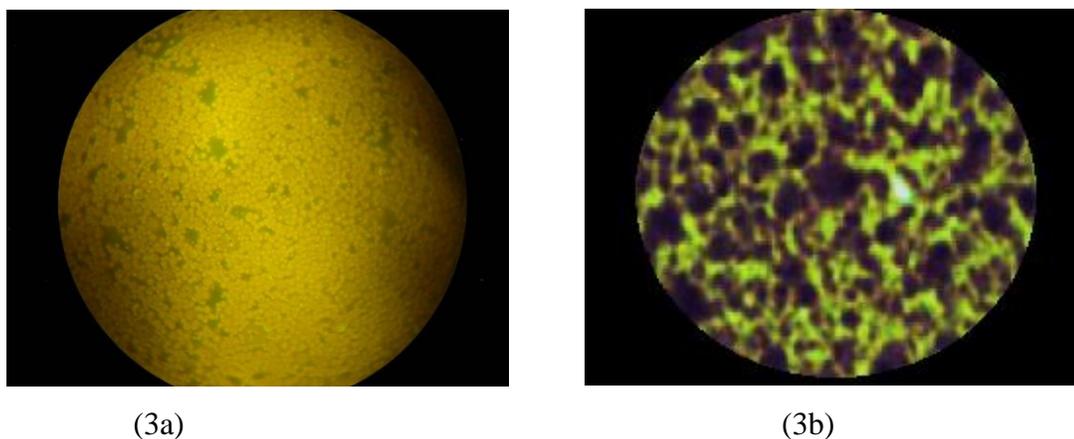


Fuente: IncoAsfaltos SAS

Cuando realizamos la incorporación de polímeros en la emulsión CRR-1 usualmente modificamos las características viscoelásticas del betún, logrando un mejor desempeño y

propiedades de adherencia, estas asociadas a formación de red polimérica dentro del asfalto, las siguientes microfotografías muestran el desarrollo de dicha red después de la coalescencia de los glóbulos de asfalto.

Figura 3. Microfotografía de emulsión asfáltica CRR-1m al microscopio de fluorescencia a 100 X, (a) antes de rotura, (b) después de rotura (red de polímero).



Fuente: IncoAsfaltos SAS.

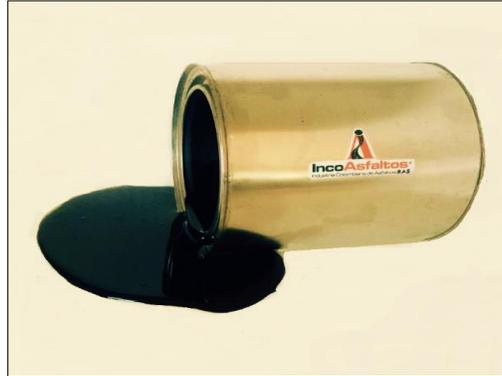
De carácter general se puede afirmar que los riegos con asfaltos emulsionados son los productos que más se usan en los procesos constructivos de pavimentos, principalmente se ha encontrado que las emulsiones asfálticas según (Mohammad, Marwa, & Patel, 2011): (a) pueden ser aplicadas a bajas temperaturas, (b) son amigables con el medio ambiente y no contienen tantos componentes volátiles, (c) son seguros para usar debido a que no son inflamables.

Asfaltos diluidos

Por su parte los asfaltos diluidos están fabricados a base de solventes derivados del petróleo con el fin de reducir su viscosidad a bajas temperaturas, existen tres categorías: curado rápido

(RC), curado medio (MC) y curado lento (SC) pero actualmente muy poco se usan debido a emisiones nocivas al medio ambiente (Asphalt Institute, 1989).

Figura 4. Asfalto diluido de curado medio MC-30



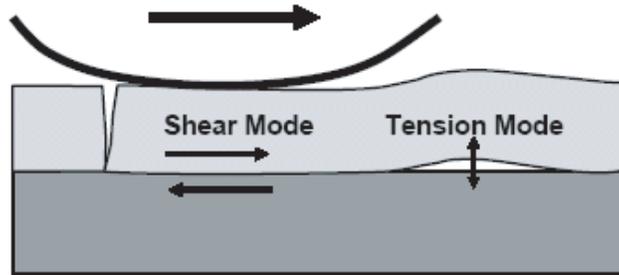
Fuente: IncoAsfaltos SAS.

Importancia del riego de liga

Durante su vida útil unos pavimentos asfálticos están sometidos a diferentes tipos de cargas y por ende está sujeto a recibir a distintos tipos de esfuerzos y usualmente el cálculo estructural de los distintos componentes se realiza suponiendo que existe una perfecta adherencia entre las diferentes capas. Siempre asumimos que estas se comportan de manera monolítica, sin embargo cuando el riego de liga ha sido aplicado con algún tipo de falencia esta condición se ve seriamente comprometida.

La siguiente figura muestra la distribución de los esfuerzos cortantes para un sistema doble capa de pavimento flexible, en ellos puede claramente los cortantes y los esfuerzos de tensión.

Figura 5. Esquema de distribución de esfuerzos entre carpetas de pavimento.

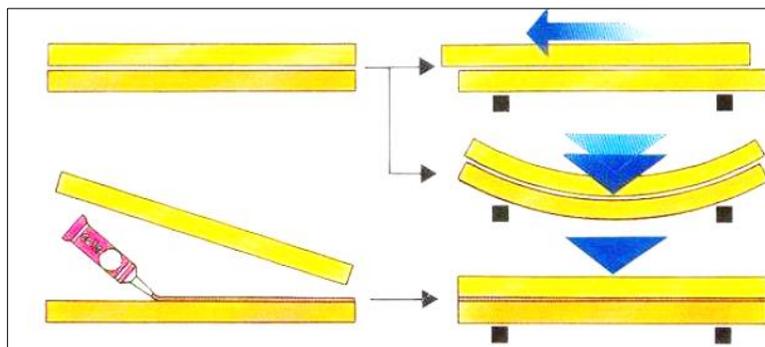


Fuente: (National Cooperative Highway Research Program NCHRP Report 712, 2012)

La adherencia final conseguida entre capas depende de muchos parámetros entre ellos: forma de aplicación del riego, uniformidad del riego, la tasa o dosis de aplicación, limpieza del sustrato, de transferencias de asfalto hacia vagonetas, forma de ejecución de la nueva capa, condición de la superficie existente.

Los riegos de liga cualesquiera que sean deben tener dos características esenciales: (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, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 6. Representación esquemática de comportamiento monolítico de una viga por efecto de adherencia.



Fuente: (Bitumen Emulsion, Syndicat des Fabricants d'Emulsion Routieres de bitume (SFERB), 2008).

Problemas asociados con adherencia de carpetas.

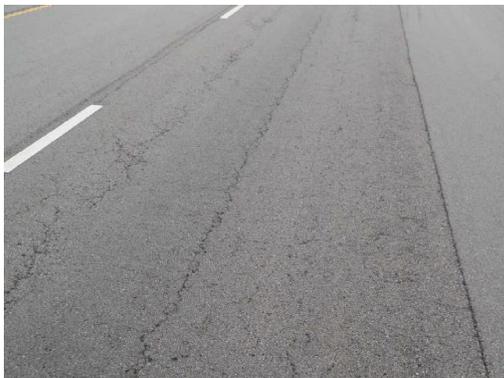
Los problemas que se pueden generar a causa de no tener una buena adherencia se traducen en las siguientes patologías:

- Formación de grieta parabólica por deficiencia de ligante.
- Falla por fatiga debido baja dosificación de liga
- Deslizamiento de carpeta superior por exceso de ligante

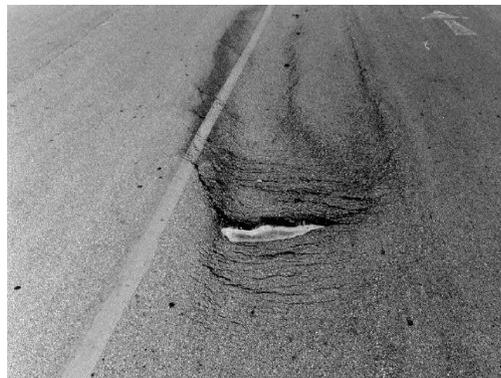
Las siguientes figuras muestran el efecto de estas deficiencias en el proceso de liga

Figura 7. Fallas típicas en pavimentos asfálticos debido a malas aplicaciones del riego de liga,

(a) Fatiga en la capa superior, (b) deslizamiento o grieta parabólica por falta de liga, (c) desplazamiento de carpeta superior.



(a)



(b)



(c)

Fuente: (FHWA-HIF-16-017, 2016)

Hoy por hoy, en la normativa colombiana INVIAS no se encuentra normado un ensayo para evaluar la calidad de la adherencia de dichas emulsiones aplicadas en capas de pavimento, especialmente con las emulsiones de rotura Rápida CRR-1 o CRR-2.

Razón por la cual la recomendación actual es que se usen diferentes tasas aplicaciones en un rango de dosificación amplío que va desde 0.2 hasta 0,3 lt/m². De asfalto residual, basta con cumplir que esta proporción para determinar si efectivamente este rango es adecuado sin importar el tipo de mezcla.

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 dicho ensayo permite determinar el esfuerzo cortante necesario para separar las dos capas, como parámetro para evaluar la adherencia entre ellas ver figura 7. También, es posible determinar la energía de deformación correspondiente al área delimitada bajo la curva carga-desplazamiento obtenida del ensayo.

Figura 8. Espécimen de mezcla asfáltica para falla en prueba de corte bajo metodología LCB.



Fuente: elaboración propia.

Ensayo de corte LCB

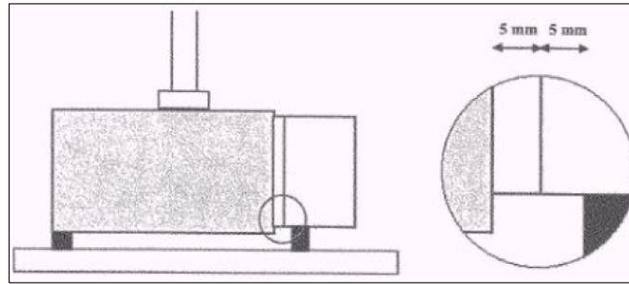
En el diseño de pavimentos, en el momento de calcular los patrones que rigen la estructura de del pavimento flexible se consideran que las carpetas asfálticas van a estar totalmente unidas, es decir trabajando de forma monolítica o una sola capa tal cal como se aprecia en la figura 7. Por esta razón los ingenieros de pavimentos debemos garantizar que así se realice dicha concepción. para lograr tal objetivo, se debe garantizar que la ejecución de este procedimiento debe hacerse de la mejor manera teniendo en cuenta que de una u otra forma el éxito de mismo esta influenciado por muchas variables, siendo muy importante la dotación de ligante residual, el tipo de betún, tipo de emulsificante y el aditivos que esta contengan.

En este proyecto la evaluación del efecto de la calidad de la adhesión entre carpeta asfálticas se realizará a partir de conceptos de resistencia al cortante para los diferentes ligantes propuestos en la investigación.

El ensayo de corte LCB (Laboratorio de Caminos de Barcelona) es un ensayo desarrollado en la Universidad de Cataluña, España, resulta muy práctico para medir la resistencia a las esfuerzos cortantes tangenciales provocadas por la aplicación de una fuerza entre la unión de dos carpetas asfálticas ligadas. También se mide la deformación de una de las capas respecto la otra.

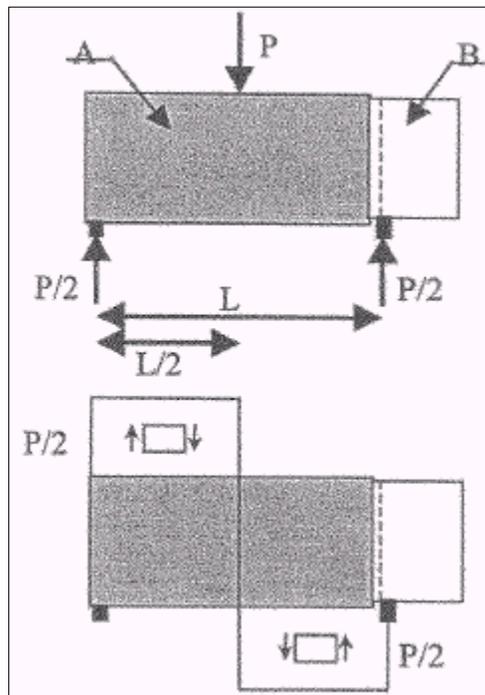
Este ensayo permite evaluar el efecto de diferentes riegos de adherencia o liga de diferentes categorías de asfalto residual mediante la falla de probetas fabricadas en el laboratorio así como también se puede realizar control de calidad de especímenes tomados. La siguiente figura esquematiza la forma de falla y conceptos asociados al mencionado ensayo .

Figura 9. Disposición de la probeta en la prensa durante la realización del ensayo



Fuente: (Norma NLT-382/08 (, 2008)

Figura 10. Esquema de esfuerzos y tensiones durante la ejecución del ensayo.



Fuente: (Norma NLT-382/08 (, 2008)

La teoría relacionada con la ejecución de este ensayo establece que 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:

τ : Tensión tangencial sobre la junta.

P: Carga aplicada.

S: superficie de la sección transversal de la probeta.

Para ello se hace referencia que la parte A de la probeta es totalmente rígida, indeformable, mientras que la parte B representa la capa asfáltica superior. Se hace la suposición de que se produce un esfuerzo de corte puro y que no existen esfuerzos de flexión.

5 METODOLOGÍA.

4.1 Etapas del trabajo de grado

Para alcanzar los objetivos mencionados en el proyecto, la metodología de investigación se divide en los procesos que se describen a continuación:

- Etapa 1: Revisión de literatura.

Una revisión de la literatura sobre adherencia entre capas y la relación entre las características del bitumen y el comportamiento del pavimento con diferentes emulsiones, dosificaciones y comportamiento siguiendo la metodología del LPC.

- Etapa 2: Caracterización físico-química de las emulsiones asfálticas comerciales.

Evaluación de las propiedades de emulsiones asfálticas comerciales que incluye la incorporación de un aditivo para mejorar la adherencia a sustratos y un látex catiónico. Las emulsiones serán analizadas siguiendo la normatividad INVIAS 2013.

- Etapa 3: Diseño de probetas de prueba.

Metodología Marshall para realización de probetas a la temperatura de compactación establecida para el asfalto sobre diseño de mezcla ya establecido.

- Etapa 4: Evaluación del desempeño de las mezclas asfálticas diseñadas.

Falla de los especímenes empleando la prensa Marshall sobre un molde que sigue la normatividad NLT-328/08 determinando los valores óptimos en cada caso o para cada dosificación estudiada.

- Etapa 5: Análisis de los resultados del desempeño.

Interpretación de resultados de ensayo, comparaciones y análisis para seleccionar la combinación que evidencie mejor comportamiento en términos de calidad de adherencia

Tabla 1. Cronograma de actividades para la ejecución del proyecto.

Actividades	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Revisión de literatura						
Caracterización de emulsiones						
Diseño de probetas de prueba						
Evaluación de desempeño de adherencia entre carpetas						
Análisis de resultados						
Redacción de tesis						

Fuente: elaboración propia.

6 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Para la realización de esta tesis ha sido necesaria la ejecución de ensayos en el Laboratorio de la empresa doble A ingeniería SA e IncoAsfaltos SAS con aditivos suministrados por la Empresa IMMAC SAS. Siguiendo la normatividad INVIAS para la caracterización de los materiales empleados.

El desarrollo del trabajo de investigación se realiza en dos etapas. La primera contempla la fabricación de 4 emulsiones de rotura rápida de diferentes formulaciones y un ligante de asfalto caucho.

La segunda etapa considera la fabricación de los especímenes a partir de las mezclas tipo MD-12, MD-20 y MGCR-19.

La siguiente tabla muestra las combinaciones de mezcla asfálticas para los Diferentes tipos de liga diseñados a nivel de laboratorio.

Tabla 2. Combinación de riego de liga para mezclas asfálticas MD-12 sobre MD-20

ID mezcla	Liga	Dosis l/m2	Especímenes	Especímenes	
	CRR-1	0,3	3	9	
		0,5	3	9	
		0,7	3	9	
	CRR-1 DILUIDA NANOTAC	0,3	3	9	
		0,5	3	9	
		0,7	3	9	
		CRR-1 DILUIDA	0,3	3	9
			0,5	3	9
			0,7	3	9
	CRR-1m	0,3	3	9	
		0,5	3	9	
		0,7	3	9	

Total Especímenes 108

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Combinación de riego de liga para mezclas asfálticas MD-12 sobre MGC-R

ID mezcla	Liga	Dosis l/m2	Especímenes	Total Especímenes
[Color amarillo]	CRR-1	0,3	3	9
		0,5	3	9
		0,7	3	9
	CRR-1 DILUIDA NANOTAC	0,3	3	9
		0,5	3	9
		0,7	3	9
	CRR-1 DILUIDA	0,3	3	9
		0,5	3	9
		0,7	3	9
[Color azul]	CRR-1m	0,3	3	9
		0,5	3	9
		0,7	3	9
	Asfalto Caucho	0,2	3	9
		0,3	3	9
		0,4	3	9

Total Especímenes 135

Fuente: elaboración propia

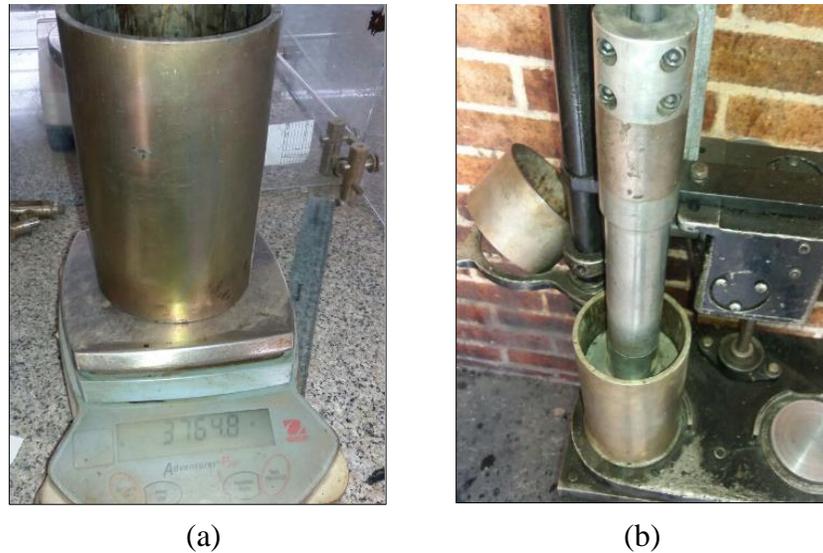
5.1 Proceso de Fabricación de Especímenes

Las probetas fabricadas en laboratorio para la realización del ensayo de corte sigue el siguiente procedimiento:

La mezcla en caliente MD-12 y MD-20 es elaborada con asfalto de refinería 60/70, la mezcla MGCR-19 es elaborada con asfalto modificado con granulo de caucho reciclado de llantas, siguiendo la metodología de diseño Marshall.

Se compacta la mezcla siguiendo las curvas de compactación de cada asfalto en un molde de dimensiones estándares de 101,6 de diámetro y 177,8 mm de altura, con una energía de compactación de 100 golpes totales en una sola cara.

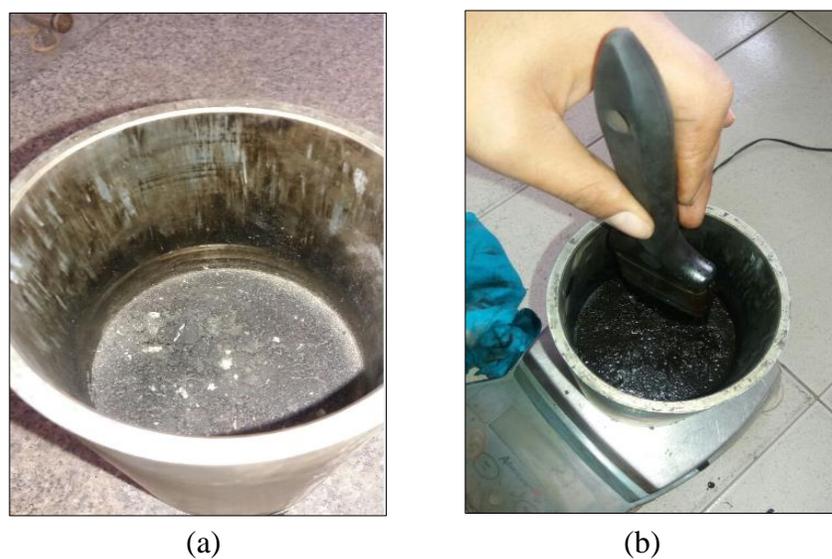
Figura 11. Proceso de compactación de la primera capa de mezcla asfáltica.



Fuente: elaboración propia

Una vez compactada la primera capa y después de 24 horas, se procede a realizar la dotación de liga o asfalto residual sobre la superficie sobre la probeta MD-20 o MGCR-19, realizando un control en los pesos de cada dosificación.

Figura 12. Proceso de aplicación de la emulsión y control de la dotación.



Fuente: elaboración propia

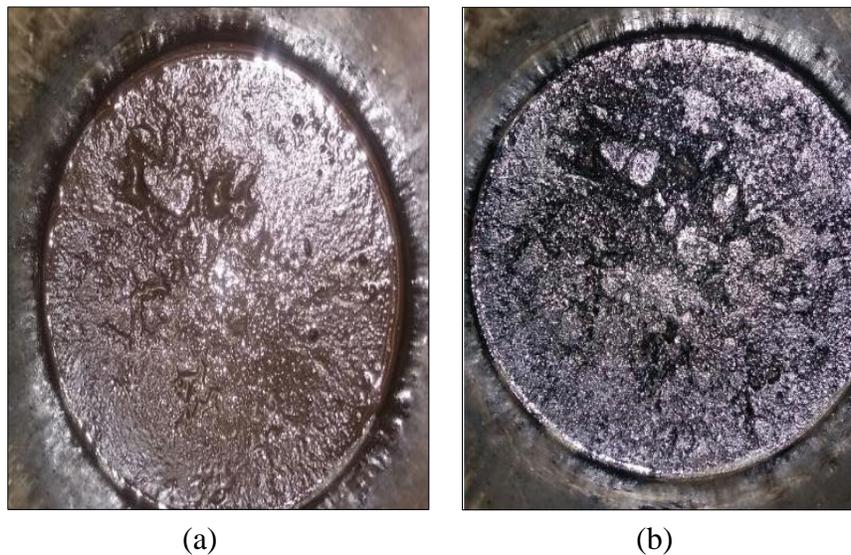
Figura 13. Control de la dotación final por metro cuadrado.



Fuente: elaboración propia

Una vez establecida la dotación de ligante sobre la superficie se da un tiempo de rotura de 15 minutos a cada emulsión y se procede con la colocación de la segunda capa.

Figura 14. Proceso de rotura de la emulsión sobre la superficie de la probeta, (a) emulsión CRR-1 sin romper, (b) emulsión CRR-1 finalizando proceso de rotura.



Fuente: elaboración propia

Se adiciona mezcla asfáltica para la segunda capa y se procede con la compactación de la misma (masa de mezcla igual a la mitad de la primera capa) con 50 golpes por cara.

Figura 15. Proceso de adición de la segunda capa de mezcla y compactación de la misma,



Fuente: elaboración propia

Después de 24 horas se procede a retirar el núcleo con las dos capas unidas.

Figura 16. Proceso de extracción de núcleos para la falla



(a)



(b)

Fuente: elaboración propia

Se procede a Fallar luego de acondicionar los especímenes a 25 °C durante 3 horas.

Figura 17. Proceso de falla de especímenes compactados y ligados.



(a)



(b)



(c)

Fuente: elaboración propia

7 RESULTADOS

7.1 Granulometría de los agregados

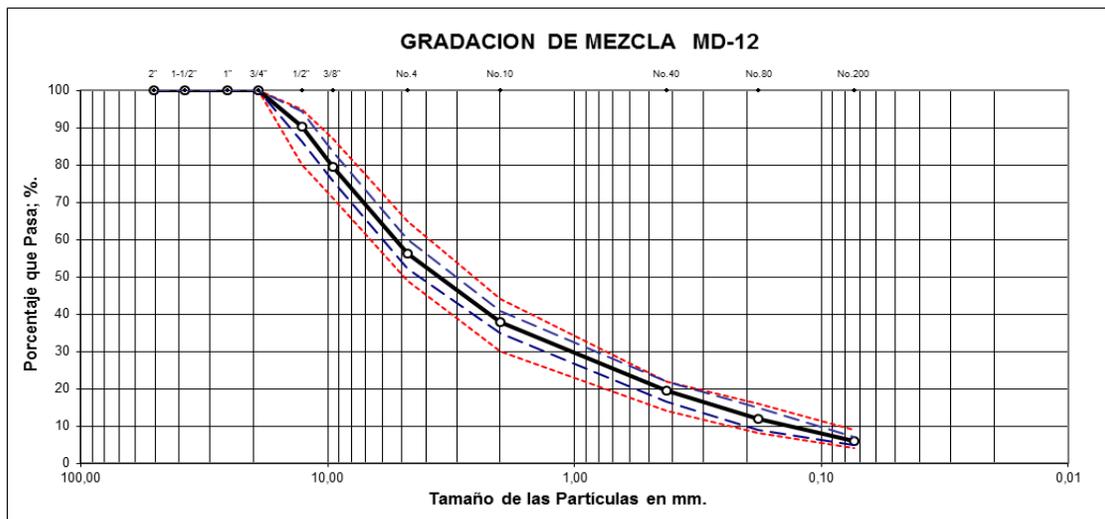
A continuación, se muestran las granulometrías de los agregados usados en el proyecto:

Tabla 4. Granulometría Mezcla MD-12

TAMIZ		Porcentaje que pasa.	Mezcla densa tipo MD 12 - IDU-ET-2011.	
Alternativo.	Normal mm.		Norma	
2"	50,8	100	100	100
1-1/2"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	100	100
3/4"	19,05	100	100	100
1/2"	12,7	90	80	95
3/8"	9,525	80	71	87
No.4	4,75	56	49	65
No.10	2	38	30	44
No.40	0,425	19	14	22
No.80	0,18	12	8	16
No.200	0,074	6	4	9
Fondo				

Fuente: elaboración propia

Figura 18. Representación gráfica de la curva granulométrica de la mezcla MD-12



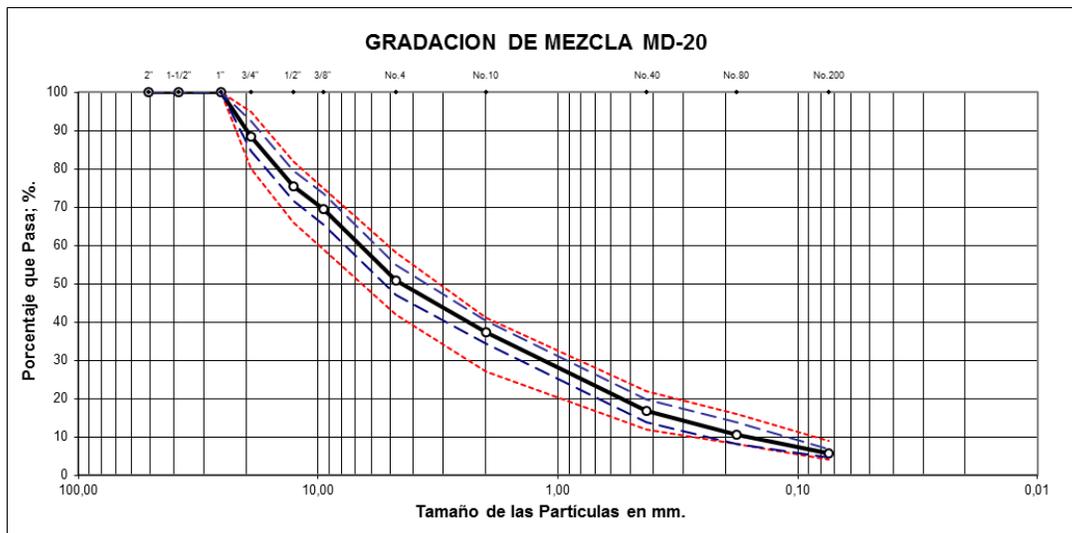
Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Granulometría Mezcla MD-20

TAMIZ		Porcentaje que pasa.	Mezcla densa tipo MD 20 - IDU-ET-2011.	
Alternativo.	Normal		Norma	
	mm.			
2"	50,8	100	100	100
1-1/2"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	100	100
3/4"	19,05	89	80	95
1/2"	12,7	76	66	82
3/8"	9,525	70	59	75
No.4	4,75	51	42	58
No.10	2	37	27	41
No.40	0,425	17	12	22
No.80	0,18	11	8	16
No.200	0,074	5,7	4	9
Fondo				

Fuente: elaboración propia

Figura 19. Representación gráfica de la curva granulométrica de la mezcla MD-20



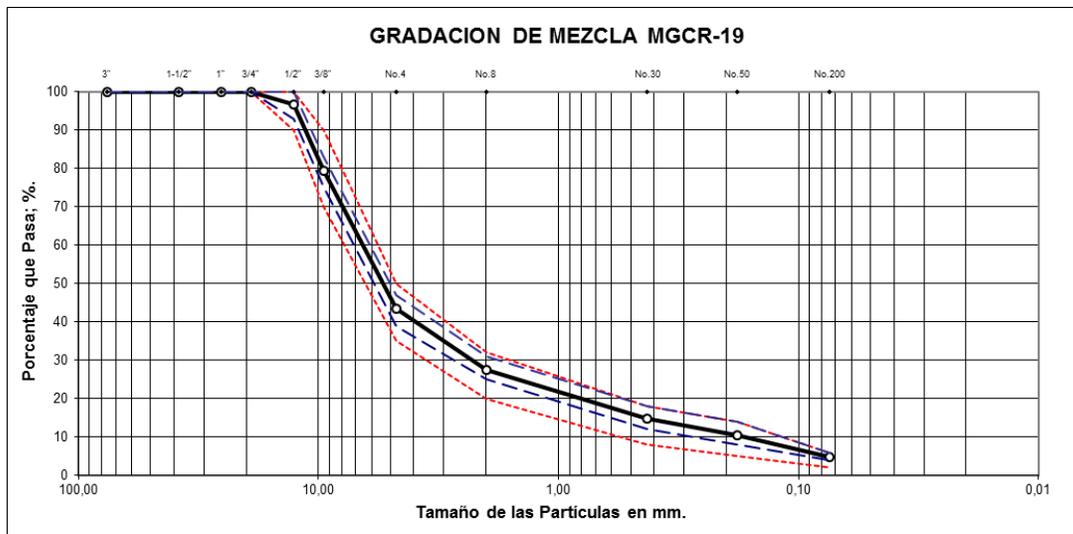
Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Granulometría Mezcla MGCR-19.

TAMIZ		Porcentaje que pasa.	Mezcla Invias tipo MGCR-19.	
Alternativo.	Normal mm.		Norma	
3"	76,2	100	100	100
1-1/2"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	100	100
3/4"	19,05	100	100	100
1/2"	12,7	97	90	100
3/8"	9,525	79	70	90
No.4	4,75	43	35	50
No.8	2	28	20	32
No.30	0,425	15	8	18
No.50	0,18	11	5	14
No.200	0,074	4,9	2	6
Fondo				

Fuente: elaboración propia

Figura 20. Representación gráfica de la curva granulométrica de la mezcla MGCR-19



Fuente: elaboración propia

7.2 Parámetros de control de Diseño Marshall.

La siguiente tabla muestra un resumen de las propiedades básicas medidas en los óptimos de diseño Marshall de cada una de las mezclas proporcionadas para el estudio.

Tabla 7. Relación de propiedades Marshall medida en cada una de las fórmulas de trabajo de las mezclas usadas.

PROPIEDAD	MD-12	MD-20	MGCR-19
Estabilidad (kgf)	1435	1335	1370
Flujo (mm)	3,1	3,0	
Relación estabilidad/flujo	463	445	
G específica (Bulk)	2,207	2,203	2,180
Vacíos en agregados minerales (%)	16,40	15,98	17,55
Vacíos Con aire (%)	4,8	4,7	4,9
Vacíos llenos de asfalto (%)	69	69	
Relación Filler/ligante	1,11	1,12	0,80
Indice de película IPA	8,2	8,1	7,9
Óptimo de Asfalto, %	5,8	5,6	7,3

Fuente. Doble a ingeniera SA.

7.3 Caracterización del asfalto caucho.

Los valores de las propiedades fisicoquímicas del asfalto utilizado para el diseño de la mezcla asfáltica, fabricada con asfalto modificado con GCR son los siguientes:

Tabla 8. Control de calidad de asfalto modificado con GCR para fabricación de mezcla asfáltica.

ENSAYO / ANALISIS	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INV	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	FRECUENCIA
			Mín	Máx		
ASFALTO ORIGINAL						
Penetración (25 °C, 100g, 5s)	0.1 mm	E-706	40,0	70,0	44,0	CADA LOTE
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	°C	E-712	52,00	-	76,0	CADA LOTE
Viscosidad Brookfield a 163°C	cP	E-717	1500	3000	2500,0	CADA LOTE
Punto de ignición mediante la copa abierta Cleveland	°C	E-709	230,00	-	248,0	CADA LOTE
PERDIDA DE MASA EN EL HORNO DE LÁMINA ASFÁLTICA DELGADA EN MOVIMIENTO (INV E-720) Y ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO						
Pérdida de masa	%	E-720	-	1,0	0,6278	MENSUAL
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento, (%) de la penetración original	%	E-706	65,00	-	76,0	MENSUAL
Recuperación Elástica Por Ductilidad	%	E-702	50,0	-	68,00	MENSUAL
NOTA: Temperatura recomendada de mezclado: 173 - 177°C Temperatura recomendada de compactación: 150 - 155°C						

Fuente: IncoAsfaltos SAS

7.4 caracterización de las emulsiones asfálticas.

Tabla 9. Caracterización de las emulsión asfálticas CRR-1

ENSAYO / ANALISIS	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INV	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	FRECUENCIA
			Mín	Máx		
Contenido de Asfalto	%	Evaporación	60,00	—	60,10	CADA LOTE
Viscosidad Saybolt Furol a 50 °C	s	E - 763	20,00	100,00	23,00	QUINCENAL
Contenido de agua en volumen	%	E - 761	—	40,00	40,00	CADA LOTE
Estabilidad en almacenamiento - Sedimentación a los 7 días	%	E - 764	—	5,00	2,65	QUINCENAL
Destilación - Contenido de asfalto residual	%	E - 762	60,00	—	60,00	MENSUAL
Destilación - Contenido de disolventes	%	E - 762	—	3,00	2,50	MENSUAL
Tamizado - Retenido tamiz No. 20 (850 µm)	%	E - 765	—	0,10	0,0160	CADA LOTE
Rotura - Dioctilsulfosuccinato sódico	%	E - 766	40,00	—	63,00	SEMESTRAL
Carga de partícula	%	E - 767	—	Positiva	POSITIVA	MENSUAL
pH	%	E - 768	—	6,00	2,30	CADA LOTE
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE DESTILACIÓN						
Penetración (25 °C, 100g, 5s)	0,1 mm	E - 706	60,00 100,00	100,00 250,00	71,00	MENSUAL
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	cm	E - 702	40,00	—	150,00	MENSUAL
Solubilidad en tricloroetileno	%	E - 713	97,00	—	99,00	SEMESTRAL

Fuente: IncoAsfaltos SAS

Tabla 10. Caracterización de la emulsión asfáltica CRR-1 m.

ENSAYO / ANALISIS	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INV	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	FRECUENCIA
			Mín	Máx		
Contenido de Asfalto	%	Evaporación	60,00	—	61,80	CADA LOTE
Viscosidad Saybolt Furol a 50 °C	s	E - 763	20,00	100,00	27,00	QUINCENAL
Contenido de agua en volumen	%	E - 761	—	40,00	39,00	CADA LOTE
Estabilidad en almacenamiento - Sedimentación a los 7 días	%	E - 764	—	5,00	1,30	QUINCENAL
Destilación - Contenido de asfalto residual	%	E - 762	60,00	—	61,00	MENSUAL
Destilación - Contenido de disolventes	%		—	3,00	1,00	MENSUAL
Tamizado - Retenido tamiz No. 20 (850 µm)	%	E - 765	—	0,10	0,02	CADA LOTE
Rotura - Dioctilsulfosuccinato sódico	%	E - 766	40,00	—	69,00	SEMESTRAL
Carga de partícula		E - 767		Positiva	POSITIVA	MENSUAL
pH		E - 768	—	6,00	2,10	CADA LOTE
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE EVAPORACIÓN						
Penetración (25 °C, 100g, 5s)	0,1 mm	E - 706	60,00	100,00	65,00	MENSUAL
Punto de ablandamiento con aparato de anillo y bola	°C	E - 712	55,00	—	59,20	MENSUAL
Ductilidad (5 °C, 5 cm/min)	cm	E - 702	10,00	—	25,00	MENSUAL
Recuperación elástica por torsión a 25 °C	%	E - 727	12,00	—	29,00	SEMESTRAL

Fuente: IncoAsfaltos SAS

Tabla 11. Caracterización de la emulsión asfáltica CRR-1 diluida

ENSAYO / ANALISIS	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INV	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	FRECUENCIA
			Mín	Máx		
Contenido de Asfalto	%	Evaporación	60,00	—	21,30	CADA LOTE
Viscosidad Saybolt Furol a 50 °C	s	E - 763	20,00	100,00	13,00	QUINCENAL
Contenido de agua en volumen	%	E - 761	—	40,00	79,50	CADA LOTE
Estabilidad en almacenamiento - Sedimentación a los 7 días	%	E - 764	—	5,00	7,50	QUINCENAL
Destilación - Contenido de asfalto residual	%	E - 762	60,00	—	20,50	MENSUAL
Destilación - Contenido de disolventes	%		—	3,00	2,50	MENSUAL
Tamizado - Retenido tamiz No. 20 (850 µm)	%	E - 765	—	0,10	0,0011	CADA LOTE
Rotura - Dioctilsulfosuccinato sódico	%	E - 766	40,00	—	72,00	SEMESTRAL
Carga de partícula		E - 767		Positiva	POSITIVA	MENSUAL
pH		E - 768	—	6,00	1,90	CADA LOTE
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE DESTILACIÓN						
Penetración (25 °C, 100g, 5s)	0,1 mm	E - 706	60,00	100,00 100,00 250,00	99,00	MENSUAL
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	cm	E - 702	40,00	—	150,00	MENSUAL
Solubilidad en tricloroetileno	%	E - 713	97,00	—	99,00	SEMESTRAL

Fuente: IncoAsfaltos SAS

Tabla 12. Caracterización de la emulsión asfáltica CRR-1 diluida con nanotac

ENSAYO / ANALISIS	UNIDAD	NORMA DE ENSAYO INV	ESPECIFICACIÓN		RESULTADO	FRECUENCIA
			Mín	Máx		
Contenido de Asfalto	%	Evaporación	60,00	—	21,30	CADA LOTE
Viscosidad Saybolt Furol a 50 °C	s	E - 763	20,00	100,00	13,00	QUINCENAL
Contenido de agua en volumen	%	E - 761	—	40,00	79,50	CADA LOTE
Estabilidad en almacenamiento - Sedimentación a los 7 días	%	E - 764	—	5,00	7,50	QUINCENAL
Destilación - Contenido de asfalto residual	%	E - 762	60,00	—	20,50	MENSUAL
Destilación - Contenido de disolventes	%	E - 762	—	3,00	2,50	MENSUAL
Tamizado - Retenido tamiz No. 20 (850 µm)	%	E - 765	—	0,10	0,0011	CADA LOTE
Rotura - Dioctilsulfosuccinato sódico	%	E - 766	40,00	—	72,00	SEMESTRAL
Carga de partícula	%	E - 767	—	Positiva	POSITIVA	MENSUAL
pH	%	E - 768	—	6,00	1,90	CADA LOTE
ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE DESTILACIÓN						
Penetración (25 °C, 100g, 5s)	0,1 mm	E - 706	60,00 100,00	100,00 250,00	99,00	MENSUAL
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	cm	E - 702	40,00	—	150,00	MENSUAL
Solubilidad en tricloroetileno	%	E - 713	97,00	—	99,00	SEMESTRAL

Fuente: IncoAsfaltos SAS

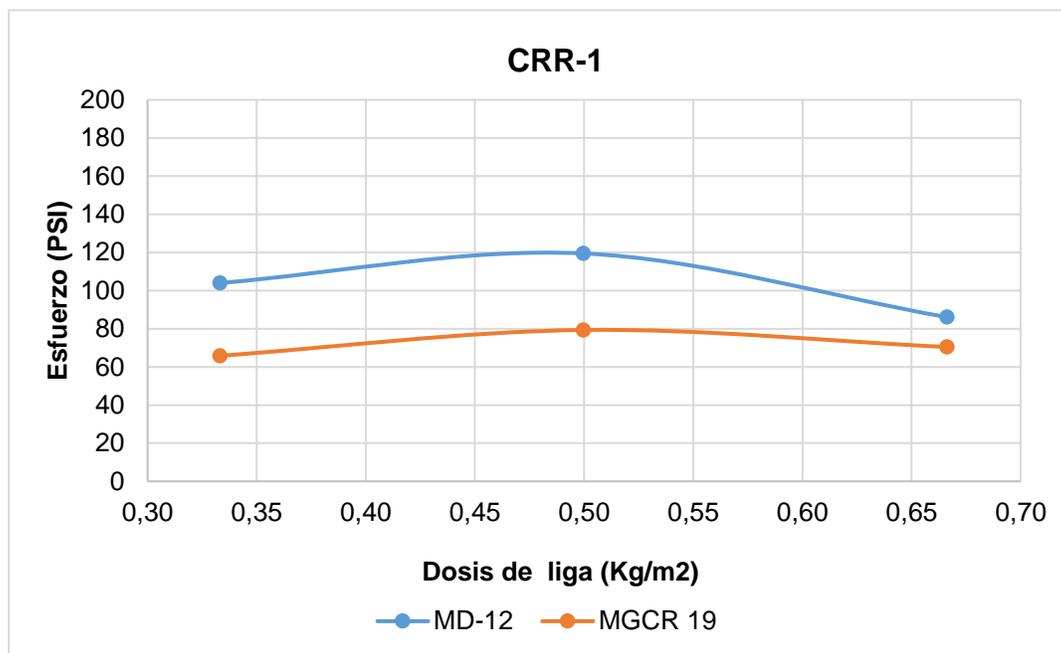
7.5 Resultados de esfuerzo de corte

Acorde a lo descrito, se procedió con el análisis de un sistema de pavimento conformado de la siguiente manera; como carpeta asfáltica de base en todos los ensayos, se utilizó una mezcla densa en caliente tipo MD-20 y en la parte correspondiente a rodadura se utilizaron dos mezclas diferentes, la primera MD-12 y la segunda MGCR-19.

De igual forma, para estas dos combinaciones de concreto asfáltico se utilizaron 3 diferentes concentraciones de liga, para el caso de las emulsiones, 0,33; 0,5 y 0,65 Kg / m², por su parte, para el ensayo en el cual se utilizó asfalto con grano de caucho reciclado las concentraciones fueron 0,2; 0,4 y 0,5 Kg / m².

Importante indicar que los resultados establecidos en este informe son atinentes a la experiencia gestada a través de las mediciones y diseño estudiado para la presente tesis.

Figura 21. Grafica de esfuerzo de Corte Vs dosis de Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido CRR-1, Pura Proveniente de Fábrica, Asfalto residual 60%.



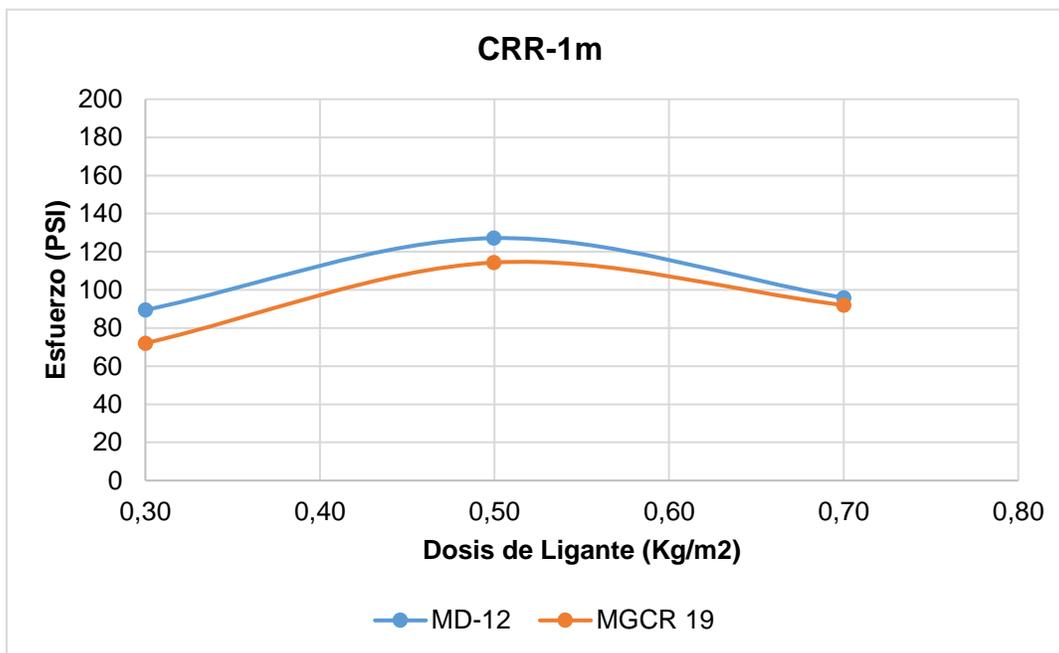
Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Resultados de esfuerzo de corte para la Emulsión CRR-1 de fabrica

DOSIS (Kg / m ²)	ESFUERZO MD-12 (PSI)	ESFUERZO MGCR-19 (PSI)
0,30	104	66
0,50	119	79
0,7	86	70

Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Grafica de esfuerzo de Corte Vs dosis de Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido CRR-1m Modificada con Látex tipo SBR. Asfalto residual 61,8%.



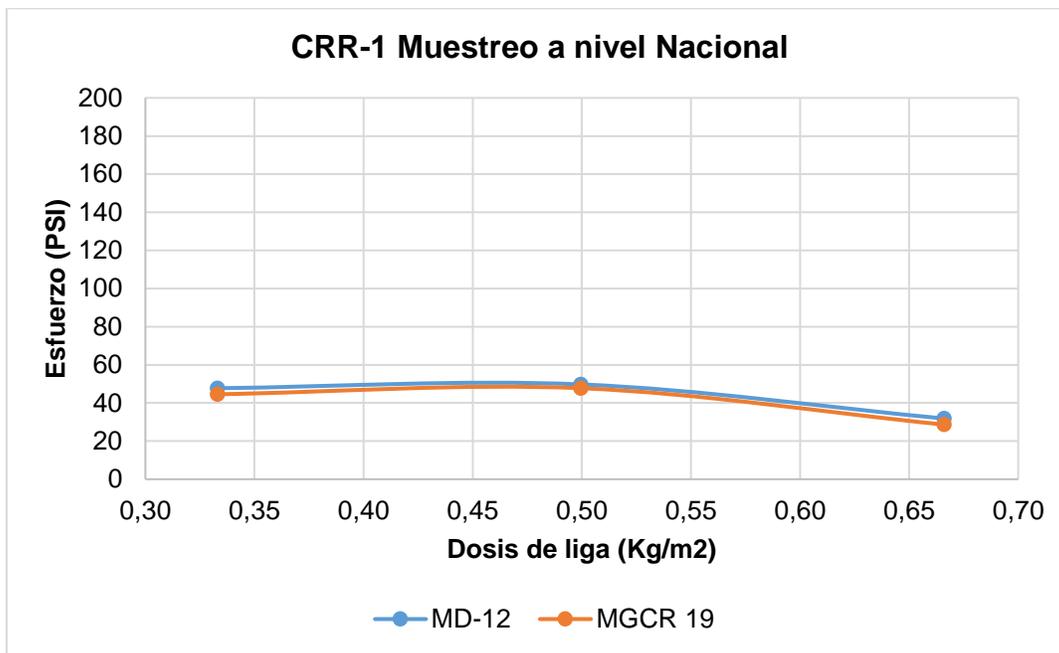
Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Resultados de esfuerzo de corte para la Emulsión CRR-1m de fabrica

DOSIS (Kg / m ²)	ESFUERZO MD-12 (PSI)	ESFUERZO MGCR-19 (PSI)
0,30	89	72
0,50	127	114
0,70	96	92

Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Grafica de esfuerzo de Corte Vs dosis de Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido CRR-1 diluida. Asfalto residual 21,3%.



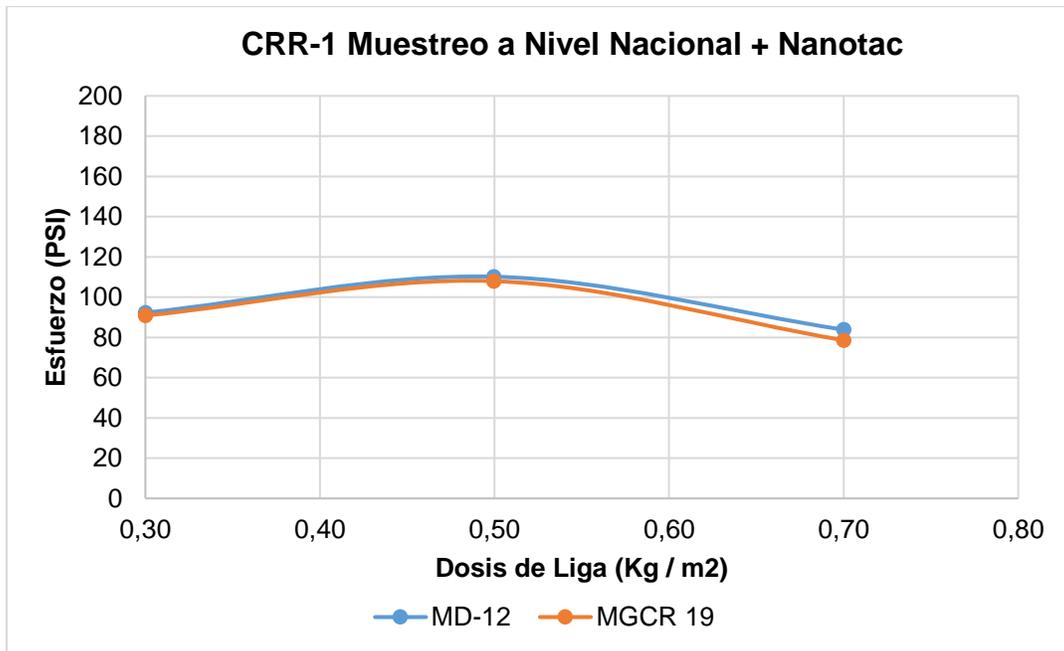
Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Resultados de esfuerzo de corte para la Emulsión CRR-1 diluida (muestreo nacional).

DOSIS (Kg / m²)	ESFUERZO MD-12 (PSI)	ESFUERZO MGCR-19 (PSI)
0,30	48	45
0,50	50	48
0,70	32	29

Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Grafica de esfuerzo de Corte Vs dosis de Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido CRR-1 diluida con adición de Nanotac. Asfalto residual 21,3%.



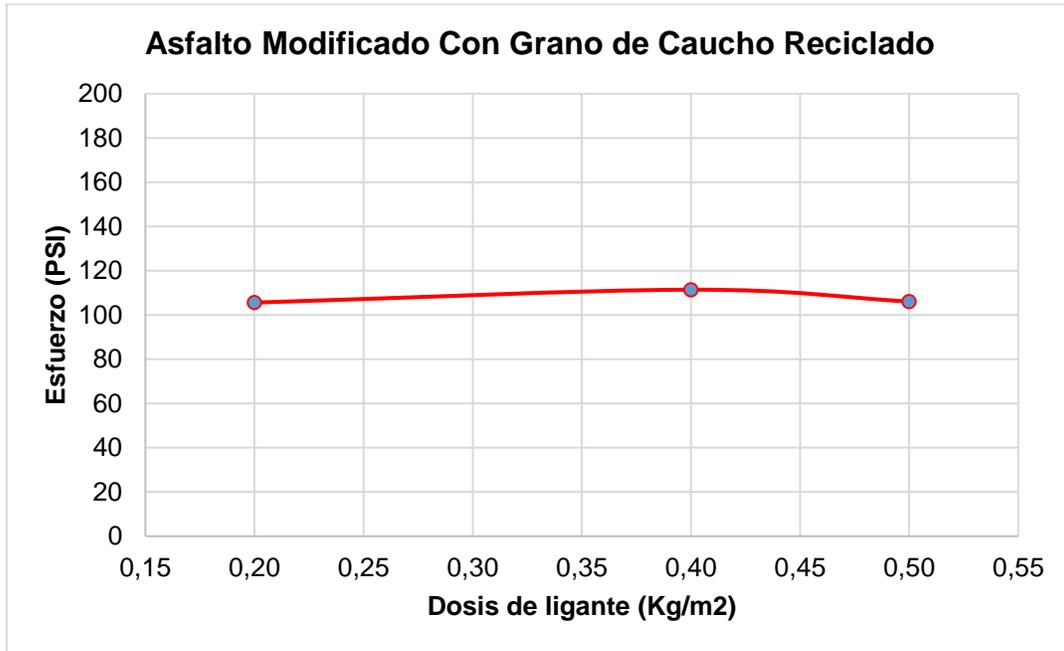
Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Resultados de esfuerzo de corte para la Emulsión CRR-1 diluida + Nanotac

DOSIS (Kg / m²)	ESFUERZO	
	MD-12 (PSI)	MGCR-19 (PSI)
0,30	92	91
0,50	110	108
0,70	84	79

Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Grafica de esfuerzo de Corte Vs dosis de asfalto caucho con el 18% en peso de GCR.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Resultados de esfuerzo de corte para la Emulsión CRR-1 diluida (muestreo nacional).

DOSIS (Kg / m²)	ESFUERZO MGCR-19 (PSI)
0,20	106
0,40	111
0,50	106

8. CONCLUSIONES

- Sorprendente lo encontrado en nuestro muestreo. Es sabido que una de las malas prácticas constructivas a la hora de ejecutar la instalación de una mezcla asfáltica en Colombia, es diluir las emulsiones con agua, sin embargo, después del análisis a 10 productos para el riego de liga, las cuales fueron tomadas en diferentes partes del país, decidimos utilizar la de mayor contenido de asfalto residual, arrojando tan solo un 21,3%, es decir, 0,07 Kg de asfalto / m².
- El eje comparativo es viable efectuarlo a través de la CRR-1 en condiciones naturales de fábrica, ya que, se da por entendido como una buena práctica constructiva la utilización de emulsiones puras y así garantizar las dosis de asfalto residual necesarias para evitar deterioro prematuro de las mezclas asfálticas de rodadura.
- A través de este estudio desvirtuamos una premisa lógica, la cual indica que: “a mayor asfalto residual mayor resistencia de la liga”.
- El uso de aditivos permite diluir controladamente la emulsión sin sacrificar resistencia a esfuerzos cortantes. Por lo tanto es viable incorporar agua a las emulsiones siempre y cuando se utilicen Nanomateriales que así lo permitan.
- Las emulsiones modificadas con látex tipo SBR, lograron aportar el mejor desempeño, aduciendo que la cohesión que desarrolla este tipo de ligante se apoyan en los emulgentes

con características de promotor de adhesividad con que son fabricadas este tipo de emulsiones, se deriva de aquí el desempeño encontrado.

- Por su parte, las ligas efectuadas con asfaltos que incorporan en su formulación caucho de llanta reciclado, obtuvieron un desempeño sobresaliente frente a los demás productos utilizados en la liga de mezclas asfálticas fabricadas con el mismo ligante. Se pudo constatar que efectivamente el aporte a cohesión y adhesión que genera el polímero enunciado es el adecuado en el momento de construir con este tipo de materiales.
- Acorde a los resultados obtenidos se sugiere que para las ligas efectuadas con emulsión, el mejor desempeño se obtiene en una concentración de 0,5 Kg / m²; por su parte, los asfaltos modificados con grano reciclado de llanta obtuvo pico máximo a la resistencia al corte con una concentración de 0,3 Kg / m².
- Basados en los resultados obtenidos se recomienda construir el riego liga con productos que conserven características similares al asfalto utilizado en la fabricación de las mezclas objeto a ligar.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asphalt Institute. (1989). *The Asphalt Handbook*. K.Y.
- Asphalt Institute. (2008). *Basic Asphalt Emulsion Manual* (Fourth ed., Vols. MS-19).
- Asphalt Magazine. (2015). *Tackling tack coats* (Vol. Vol 30.).
- ASTM D 2397. (2005). *Standard Specification for Emulsified Asphalt, ASTM D 2397*.
- ASTM-D-8. (2004). *Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements, Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 04.03).
- Bitumen Emulsion, Syndicat des Fabricants d'Emulsion Routieres de bitume (SFERB). (2008). *General Information Applications*. Paris.
- FHWA-HIF-16-017. (2016). *Tech Brief: Tack Coat Best Practices*.
- Hachiya, Y., & Sato, K. (1997). Effect of Tack Coat on Bonding Characteristics in interface between asphalt concrete layers. *proceeding of the 8th international conference on asphalt pavements*, (págs. 349 - 362).
- Hongduo, Z., Jianfeng, C., & Zheng, Y. (2017). Investigation of the interface bonding between concrete slab and asphalt overlay. *Road Materials and Pavement Design*, 18(3), 109-118.
- INVIAS. (2013). *Especificaciones generales de Construcción de Carreteras, ART 431*. Bogotá D.C.
- Mohammad, L. N., Marwa, H., & Patel, N. (2011). *Effects of Shear Bond Characteristics of Tack Coats on Pavement Performance at the Interface*.
- Mohammad, L., Raqib, M., & Huang, B. (2002). Influence of asphalt tack coat materials on interface shear strength. *transportation research record 1789*, 56-65.

National Cooperative Highway Research Program NCHRP Report 712. (2012). *Optimization of Tack Coat for HMA Placement*. Washington, D.C.

Norma NLT-382/08 (. (2008). *Evaluación de la adherencia entre capas de firmes, mediante ensayo de corte* (ISBN: 978-84-7790-484 ed.). España.

Sangiorgi, C., Collop, C., & Thom, N. (2002). Laboratory Assessment of bond condition using the leutner shear test. *3rd international conference of bituminous mixtures and pavements*, (págs. 315-324). Thessaloniki, Greece.

Uzan, J., Livneh, M., & Eshed, Y. (1978). investigation of adhesion properties between asphaltic concrete layers. En *asphalt paving technology* (Vol. 47, págs. 495-521).

West, R., Zhang, J., & Moore, J. (2005). *evaluation of bond strength between pavement layers*. National Center for Asphalt Technology.