

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Análisis de la efectividad mecánica de la interfaz del riego
de liga entre el micro pavimento y bases estabilizadas,
constituidas con asfaltos recortados y emulsiones
asfálticas en climas templados - Huancayo 2021**

Stefani Kinverlin Angoma Garcia
Angel Amador Mercado Ponce

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	4%
2	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	cedi.ucr.ac.cr Fuente de Internet	1%
7	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	vsip.info Fuente de Internet	

<1 %

10

doku.pub

Fuente de Internet

<1 %

11

repositorio.espe.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

12

[Submitted to Universidad Cesar Vallejo](#)

Trabajo del estudiante

<1 %

13

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

14

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

15

renati.sunedu.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

16

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

<1 %

17

[Submitted to Universidad EAFIT](#)

Trabajo del estudiante

<1 %

18

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.ulvr.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

20

www.repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

21	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	qdoc.tips Fuente de Internet	<1 %
23	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
24	rei.iteso.mx Fuente de Internet	<1 %
25	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	go.gale.com Fuente de Internet	<1 %
31	inba.info Fuente de Internet	<1 %
32	www.tdx.cat Fuente de Internet	<1 %

33	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
34	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
36	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
37	www.semanticscholar.org Fuente de Internet	<1 %
38	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
39	www.redalyc.org Fuente de Internet	<1 %
40	www.lanamme.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
41	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
42	creativecommons.org Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
44	scholar.sun.ac.za Fuente de Internet	<1 %

45	pdfslide.net Fuente de Internet	<1 %
46	repositorioslatinoamericanos.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
47	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
48	catalogo.uptc.edu.co Fuente de Internet	<1 %
49	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
50	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
51	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
52	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
53	contratos.fre.mil.co Fuente de Internet	<1 %
54	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
55	repositorio.une.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
56	repositorio.unsm.edu.pe	

Fuente de Internet

<1 %

57

www.cafesdemexico.com

Fuente de Internet

<1 %

58

documents.mx

Fuente de Internet

<1 %

59

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

60

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

61

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

62

www.bcie.org

Fuente de Internet

<1 %

63

www.produccioncientificaluz.org

Fuente de Internet

<1 %

64

dspace.ucuenca.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

65

repositorio.unal.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

66

repositorio.undc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

67

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

68

revistaodontopediatria.org

Fuente de Internet

<1 %

69

upc.aws.openrepository.com

Fuente de Internet

<1 %

70

www.cesdepu.com

Fuente de Internet

<1 %

71

www.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

72

"Estudio del comportamiento de mezclas asfálticas tibias (mezclas templadas) empleando emulsiones súper-estabilizadas", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2016

Publicación

<1 %

73

cdigital.udem.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

74

cicplata.org

Fuente de Internet

<1 %

75

fes-transformacion.fes.de

Fuente de Internet

<1 %

76

link.springer.com

Fuente de Internet

<1 %

77

repositorio.uwiener.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

78

www.cubanet.org

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

AGRADECIMIENTOS

A los docentes de la facultad de Ingeniería Civil, por ser partícipes de nuestro proceso de formación académica, sobre todo, a nuestro asesor de tesis por apoyarnos en la elaboración y desarrollo de nuestro tema de investigación.

DEDICATORIA

A nuestros padres, quienes nos apoyaron incondicionalmente a lo largo del desarrollo de nuestra carrera profesional.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria	iii
Índice.....	iv
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Introducción	xii
CAPÍTULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	13
1.1. Planteamiento del problema	13
1.2. Formulación del problema	14
1.2.1. Problema general	14
1.2.2. Problemas específicos	14
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. Justificación e importancia.....	15
1.4.1. Justificación práctica.....	15
1.4.2. Justificación metodológica.....	15
1.4.3. Justificación económica	16
1.5. Limitaciones de la presente investigación.....	16
1.5.1. Limitación espacial	16
1.5.2. Limitación temporal.....	16
1.5.3. Limitación conceptual.....	16
1.6. Hipótesis.....	16
1.6.1. Hipótesis general.....	16
1.6.2. Hipótesis específicas	16
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.1.1. Antecedentes nacionales	18
2.1.2. Antecedentes internacionales.....	21
2.2. Bases teóricas	24

2.2.1. Estructura vial	24
2.2.1.1. Micropavimento	24
2.2.1.2. Base estabilizada con cemento.....	25
2.2.1.3. Riego de liga	27
2.2.2. Tipos componentes para riego de liga	28
2.2.2.1. Asfalto recortado.....	28
2.2.2.2. Emulsión asfáltica	29
2.2.3. Esfuerzos y deformaciones en una estructura vial	30
2.2.4. Ensayo de tracción de Lottman.....	31
2.2.5. Ensayo de corte LCB	31
2.2.5.1. Ensayo NLT-382/08.....	33
2.3. Variables	37
2.3.1. Variable independiente	37
2.3.2. Variable dependiente	37
2.4. Operacionalización de variables.....	38
CAPÍTULO III.....	39
METODOLOGÍA	39
3.1. Método de investigación	39
3.2. Tipo de investigación	39
3.3. Nivel de investigación.....	39
3.4. Diseño de investigación	40
3.5. Población y muestra	40
3.5.1. Población	40
3.5.2. Muestra	41
3.6. Técnicas e instrumentos de investigación	41
3.6.1. Técnicas	41
3.6.2. Instrumentos.....	41
3.7. Validación	41
CAPÍTULO IV	42
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. Caracterización del suelo	42
4.1.1. Caracterización del suelo	42
4.1.2. Diseño de suelo con cemento.....	45
4.2. Ensayos de evaluación de la interfaz.....	52
4.3. Ensayo de resistencia a la corte en la interfaz ligada	53
4.4. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta de Lottman.....	57
4.5. Ensayo de resistencia a la erosión	62

4.6. Evaluación estadística de resultados	71
4.6.1. Resistencia al corte	71
4.6.1.1. Descriptivos	71
4.6.1.2. Prueba de normalidad.....	77
4.6.1.3. Correlación.....	78
4.6.1.4. Diagrama de dispersión de puntos	79
4.6.2. Ensayo de Lottman	80
4.6.2.1. Descriptivos	80
4.6.2.2. Prueba de normalidad.....	87
4.6.2.3. Correlación.....	88
4.6.2.4. Diagrama de dispersión de puntos	89
4.6.3. Pérdida de peso por erosión	90
4.6.3.1. Descriptivos	90
4.6.3.2. Prueba de normalidad.....	97
4.6.3.3. Correlación.....	98
4.6.3.4. Diagrama de dispersión de puntos	99
4.7. Discusión de resultados.....	100
4.7.1. Resistencia a la tracción indirecta en la interfaz	100
4.7.2. Resistencia al corte en la interfaz.....	101
4.7.3. Resistencia a erosión en la interfaz	102
Conclusiones	103
Recomendaciones	105
Lista de referencias	106
Anexos	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimiento para agregado pétreo	24
Tabla 2. Gradación para micropavimento.....	25
Tabla 3. Granulometrías para base granular	26
Tabla 4. Requerimiento del agregado grueso.....	26
Tabla 5. Requerimiento del agregado fino.....	26
Tabla 6. Especificaciones para asfaltos líquidos.....	27
Tabla 7. Especificaciones para asfalto recortado	28
Tabla 8. Temperaturas de emulsiones asfálticas	30
Tabla 9. Operacionalización de variables	38
Tabla 10. Análisis granulométrico del suelo de la cantera de Umuto.....	42
Tabla 11. Clasificación y coeficientes del suelo granular.....	43
Tabla 12. Control de humedad del suelo granular	43
Tabla 13. Gravedad específica de suelo granular	44
Tabla 14. Ensayo de gravedad específica del suelo granular.....	44
Tabla 15. Relación de densidad y humedad para el diseño de suelo estabilizado con cemento	46
Tabla 16. Composición de la probeta en suelo estabilizado con cemento	48
Tabla 17. Dosificación y control de probeta en suelo estabilizado con cemento.....	49
Tabla 18. Rotura de probetas de suelo estabilizado con cemento de 0.5 % a 2.0 % de cemento añadido	50
Tabla 19. Rotura de probetas de suelo estabilizado con cemento de 2.5 % a 4.0 % de cemento añadido	51
Tabla 20. Análisis de diseño de óptimo de cemento en el suelo.....	52
Tabla 21. Relación de briquetas para ensayos de evaluación de la interfaz.....	53
Tabla 22. Resultados de ensayo de resistencia al corte.....	54
Tabla 23. Resultados de ensayo de resistencia a la tracción indirecta de Lottman.....	59
Tabla 24. Resultados de ensayo de erosión con riego de liga de RC250.....	63
Tabla 25. Resultados de ensayo de erosión con riesgo de liga de MC30	66
Tabla 26. Resultados de ensayo de erosión con riesgo de liga de Emulsión asfáltica CSS 1h	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del mecanismo de aplicación del esfuerzo de corte por cizallamiento unidireccional.....	xii
Figura 2. Fuerzas que actúan sobre la calzada	13
Figura 3. Diferencias entre base granular y base granular estabilizada con cemento	25
Figura 4. Esquema de una emulsión	29
Figura 5. Tipo de emulsiones.....	29
Figura 6. Composición de la emulsión	30
Figura 7. Pavimento sometido a carga con modelo de Boussinesq	31
Figura 8. Configuración de cargas y su rotura	31
Figura 9. Ensayo de corte por cizallamiento.....	32
Figura 10. Esquema de esfuerzos y tensiones durante el ensayo de corte LCB	32
Figura 11. Mordaza en dos mitades cilíndricas.....	34
Figura 12. Dispositivo de ensayo.....	35
Figura 13. Desviación máxima aceptable	36
Figura 14. Curva de carga y deformación del ensayo.....	37
Figura 15. Esquema propuesto del proceso experimental.....	40
Figura 16. Curva granulométrica del suelo granular.....	43
Figura 17. Gráfica de número de golpes vs. densidad seca obtenida.....	47
Figura 18. Gráfica de resistencia vs. cemento añadido en el suelo	52
Figura 19. Vista de la briqueta elaborada de base estabilizada con cemento y micropavimentos	53
Figura 20. Ensayo de resistencia al corte en la interfaz ligada	54
Figura 21. Resultados de corte en la interfaz con ligante RC 250	55
Figura 22. Resultados de corte en la interfaz con ligante MC30	56
Figura 23. Gráfico de resultados de corte en la interfaz con ligante emulsión asfáltica CSS-1H	56
Figura 24. Gráfico de resumen de resultados de corte en la interfaz con ligante varios.....	57
Figura 25. Ensayo de tracción indirecta de Lottman	58
Figura 26. Briqueta ensayada sometida a tracción indirecta.....	59
Figura 27. Resistencia a la tracción indirecta para muestras elaboradas con interfaz de RC250	60
Figura 28. Resistencia a la tracción indirecta para muestras elaboradas con interfaz de MC30	60

Figura 29. Resistencia a la tracción indirecta para muestras elaboradas con interfaz de emulsión CSS 1h	61
Figura 30. Resumen de la resistencia a la tracción indirecta para muestras elaboradas con interfaz de RC 250, MS 30 y emulsión CSS 1h.....	61
Figura 31. Briqueta sometida al ensayo de erosión acelerada	62
Figura 32. Pérdida de peso de la briqueta por erosión acelerada de chorro para muestras con liga de RC 250	64
Figura 33. Pérdida de peso de la briqueta por erosión acelerada de chorro para muestras con liga de RC 250	67
Figura 34. Pérdida de peso de la briqueta por erosión acelerada de chorro para muestras con liga de emulsión asfáltica CSS 1h.....	69
Figura 35. Resumen de pérdida de peso de la briqueta por erosión acelerada de chorro para muestras con liga de RC 250, MC 30 y emulsión asfáltica CSS 1h	70
Figura 36. Descriptivos de la resistencia al corte.....	76
Figura 15. Prueba de normalidad	77
Figura 38. Correlación	79
Figura 39. Diagrama de dispersión de puntos.....	80
Figura 40. Descriptivos a partir del ensayo de Lottman	86
Figura 41. Prueba de normalidad	87
Figura 42. Correlación	89
Figura 43. Diagrama de dispersión de puntos.....	90
Figura 44. Descriptivos de pérdida de peso por erosión	96
Figura 45. Prueba de normalidad	97
Figura 46. Correlación	99
Figura 47. Diagrama de dispersión de puntos.....	100

RESUMEN

La investigación tiene como **objetivo** determinar la efectividad mecánica en la interfaz del riego de liga del micropavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados. El **método** de investigación es científico, el tipo aplicado, porque resuelve los problemas que plantea el comportamiento de riego de MC-30, RC-250 y la emulsión asfáltica CSS-1H en términos de antitracción, anticorte y antierosión. El estudio permite obtener una dosificación óptima y el tipo de asfalto recortado que mejor trabaja como interfaz entre el micropavimento y la base estabilizada. La investigación llegó a la **conclusión** que la mayor efectividad en la adherencia en la interfaz se desarrolló con la aplicación del RC250 con una dosificación entre 0.50 l/m² a 1.00 l/m², donde se pudo obtener una resistencia al corte máximo de 160.42 kg, respecto a la resistencia a la tracción indirecta de Lottman, se obtuvo una resistencia máxima de 309.28 kg, respecto a la resistencia a la erosión de las muestras con liga de asfalto recortado RC250 se pudo obtener valores de pérdida de masa promedio de 23.84 %, valores mínimos de alrededor de 23.55 % y máximos de 24.20 % con una desviación estándar 0.22 %; siendo así el asfalto recortado RC-250, dentro de los límites de la investigación, el asfalto que mejores resultados obtuvo.

Palabras claves: erosión, micropavimento, resistencia, tracción

ABSTRACT

The objective of the research is to determine the mechanical efficiency at the interface of the micro-pavement bond irrigation and the stabilized bases, assembled with cut asphalts and asphalt emulsions in temperate climates. The research method is scientific, the applied type, because it will solve the problems posed by the irrigation behavior of MC-30, MC-70, RC-250 and the CSS-1H asphalt emulsion in terms of anti-traction, anti-shear and anti-slip. erosion. The study allows us to obtain an optimal dosage and the type of cut asphalt that works best as an interface between the micro-surfacing and the stabilized base. The investigation concluded that the greatest effectiveness in adherence in the interface was developed with the application of RC250 with a dosage of between 0.50 l/m² to 1.00 l/m², where a resistance can be obtained. at the maximum shear of 160.42 kg, with respect to Lottman's indirect tensile strength, a maximum strength of 309.28 kg was obtained, with respect to the erosion resistance of the samples with RC250 trimmed asphalt alloy, values could be obtained average mass loss of 23.84%, minimum values around 23.55% and maximum values of 24.20% with a standard deviation of 0.22%; thus, the RC 250 trimmed asphalt, within the limits of the investigation, was the asphalt that obtained the best results.

Keywords: erosion, micro-surfacing, resistance, traction

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la efectividad mecánica, del riego de liga en la interfaz del micropavimento y las bases estabilizadas, constituidas con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados. De tal manera, que se pueda aportar información con respecto a la utilización de bases estabilizadas con cemento y micropavimento, considerando diversas dosificaciones de riego de liga con diferentes asfaltos y asfaltos recortados. Para ello, existe apoyo en los ensayos realizados en laboratorio como aporte para esta investigación, basados en información precedente y relacionada al tema en estudio. La hipótesis de la investigación radica en que la efectividad mecánica del riego de liga en la interfaz del micropavimento y bases estabilizadas varía según el tipo y dosificación del material asfáltico aplicado.



Figura 1. Esquema del mecanismo de aplicación del esfuerzo de corte por cizallamiento unidireccional

En este trabajo se usaron muestras de asfaltos recortados RC250, MC30 y emulsión asfáltica tipo CSS 1h, con seis propuestas de dosificaciones 0.2 l/m^2 ; 0.5 l/m^2 ; 1 l/m^2 ; 1.5 l/m^2 ; 2 l/m^2 ; 2.5 l/m^2 . Para encontrar la dosificación que mejores resultados presenta a los ensayos planteados, basados en los resultados de laboratorio que ayuden a visualizar y comprender el sentido de estas propuestas.

A lo largo de la investigación se comprobó que existe escasa información didáctica para el tema de dosificaciones de riego de liga aplicada como interfaz a bases estabilizadas y micropavimento. Por lo tanto, se propuso el desarrollo de diversos ensayos, que permitieron obtener diversos resultados, y fueron contrastados para concluir qué dosificación es la óptima, acorde al tipo de asfalto propuesto en la investigación. De esta manera, se aporta información que mejore el aprendizaje de los profesionales encargados en investigar temas relacionados, a partir de ello, puedan alcanzar mejores avances y soluciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento del problema

Los neumáticos de automóviles estacionados en el pavimento y cada tipo de neumático, presión de inflado, carga de la rueda, velocidad y condición de la superficie crean una huella de forma diferente. Cuando está en movimiento, además de cambiar la forma de la vía, existen fuerzas diferentes a las fuerzas verticales, que existen cuando el vehículo está parado o se mueve a velocidad constante: las fuerzas horizontales aparecen por fricción y los cambios de trayectoria, por la circulación del vehículo en la calzada generan irregularidades, succión e impacto vertical del agua contenida en la parte estructural.

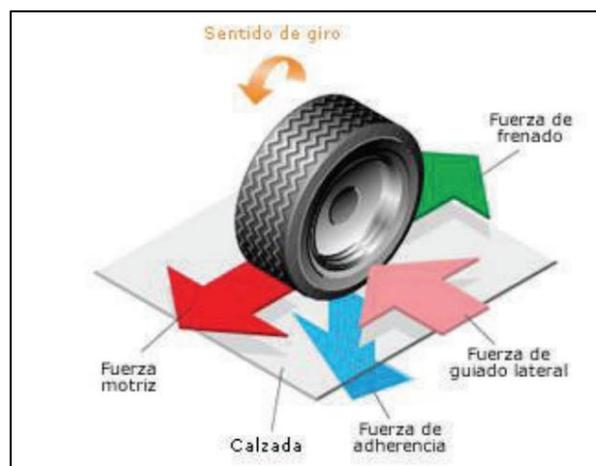


Figura 2. Fuerzas que actúan sobre la calzada

Las fuerzas horizontales de aceleración y frenado o las curvas de pequeño radio que pueden ocurrir en áreas localizadas también afectan el estado de tensión y deformación de la superficie de la carretera. Cuando se generan esfuerzos tangenciales en la superficie del pavimento, los 8-10 cm superiores deben soportar estos esfuerzos, pero generalmente no

afectan a las capas inferiores, ya que se deben considerar capas delgadas. Por ello, la solución práctica a estos problemas es mediante capas de rodadura cuyo esfuerzo cortante sea lo suficientemente elevado como para asegurar que no se produzcan fisuras ni deformaciones por cortante, salvo en tratamientos superficiales, micropavimentos y morteros asfálticos, que se utilizan en soluciones básicas.

En los últimos años, a raíz de los altos costos de los pavimentos flexibles y rígidos y frente a la alta demanda de vías en buen estado, el gobierno peruano ha optado por el uso de pavimentos con soluciones básicas de bajo costo. Estas soluciones básicas están constituidas normalmente de una base estabilizada con cemento, cal o algún aditivo químico que logra una gran resistencia a las cargas, sobre esto se coloca una capa delgada de mezcla asfáltica, mortero asfáltico o micropavimento. Dependiendo de la naturaleza, son ligadas con la aplicación de un asfalto diluido como son RC250, MC 30 o emulsión asfáltica CSS 1h. Uno de los problemas más frecuentes de este tipo de pavimentos es el desprendimiento de la capa delgada superficial, causada por factores externos que afectan la adherencia entre la capa estabilizada y la capa delgada, lo que ocasiona daños severos, ya que en las zonas donde se desprende la base estabilizada queda expuesta a los agentes externos como el tráfico y los agentes climatológicos, que deterioran y producen baches que afectan la transitabilidad de los vehículos. Esta investigación tiene como objetivo evaluar la efectividad de la adherencia de la base estabilizada y micropavimentos ligados con 3 tipos de asfaltos diluidos, RC250, MC30 y emulsión CSS 1h, evaluando diferentes dosificaciones, sometiendo las muestras a ensayos de corte, tracción indirecta y erosión por chorro, de tal manera que, se pueda determinar cuál y con qué dosificación se puede lograr una mejor adherencia entre estas capas, lo que contribuiría de manera importante en la durabilidad de este tipo de pavimentos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la efectividad mecánica del riego de liga en la interfaz del micropavimento y las bases estabilizadas constituidos con asfalto recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuánto es el valor de la resistencia a la tracción indirecta en la interfaz del riego de liga del micropavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021?

¿Cuál es el valor de la resistencia al corte en la interfaz del riego de liga del micropavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021?

¿Cuál es el valor de la resistencia a la erosión en la interfaz del riego de liga del micropavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la efectividad mecánica del riego de liga en la interfaz del micropavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

Establecer el valor de la resistencia a la tracción indirecta en la interfaz del riego de liga del micropavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021.

Calcular las resistencias al corte en la interfaz del riego de liga del micropavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021.

Estimar la resistencia a la erosión en la interfaz del riego de liga del micropavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021.

1.4. Justificación e importancia

1.4.1. Justificación práctica

Este estudio tiene como objetivo mejorar la estructura del pavimento y evaluar el riego de liga en la interfaz de la capa asfáltica y la capa base granular para comparar la diferencia entre el asfalto cortado (MC-30 y RC-250) y la emulsión asfáltica.

1.4.2. Justificación metodológica

El propósito metodológico consiste en determinar qué tipo de componente logra mejor comportamiento como riego de liga ante fuerzas de tracción, fuerzas de corte y resistencia a la erosión, con el fin de identificar el tipo de riego de liga óptimo.

1.4.3. Justificación económica

El conocimiento de la normativa vial impartido por el Ministerio de Transporte, el cual determina sus dimensiones en términos de seguridad, calidad, eficiencia y desempeño, ha posibilitado el desarrollo de este trabajo, en el que se obtiene una dosificación óptima de riego de liga, para la reducción de costos de mantenimiento, mejoramiento y construcción de vías.

1.5. Limitaciones de la presente investigación

1.5.1. Limitación espacial

La investigación cuenta con delimitación espacial en la provincia de Huancayo, lugar donde se ejecutaron las etapas de campo y gabinete del estudio. La recolección de muestras de material granular se llevó a cabo en la cantera de Umuto y la ejecución de los ensayos en el laboratorio COLDAX, ubicado en la ciudad de Huancayo.

1.5.2. Limitación temporal

La fase de investigación se desarrolló en los meses de junio a julio del año 2021, la fase de ejecución de ensayos y la de gabinete, en la que se procesaron los datos obtenidos y se redactó la investigación, se desarrolló en los siguientes meses de agosto a noviembre del 2021.

1.5.3. Limitación conceptual

Este proyecto analizó la interfaz entre la capa base granular y la capa asfáltica del pavimento flexible durante la fase de construcción, de acuerdo al método recomendado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

La efectividad mecánica del riego de liga en la interfaz del micropavimento y bases estabilizadas varía según el tipo y dosificación del material asfáltico aplicado, Huancayo, 2021.

1.6.2. Hipótesis específicas

La resistencia al corte en la interfaz del riego de liga del micropavimento y las bases estabilizadas en climas templados varía positivamente al usar emulsión asfáltica respecto a asfaltos recortados, Huancayo, 2021.

La resistencia a la tracción indirecta en la interfaz del riego de liga del micropavimento y las bases estabilizadas en climas templados varia positivamente al usar emulsión asfáltica respecto a asfaltos recortados, Huancayo, 2021.

La resistencia a la erosión en la interfaz del riego de liga del micropavimento y las bases estabilizadas en climas templados varía positivamente al usar emulsión asfáltica respecto a asfaltos recortados, Huancayo, 2021.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes nacionales

Lugo (1) en la tesis “*Imprimación asfáltica con emulsión espacial EAP en bases tratadas con cemento Portland, para optimizar la adherencia de la capa bituminosa*”, planteó el objetivo de evaluar imprimaciones bituminosas con emulsiones especiales de EAP sobre suelos tratados con cemento Portland para verificar la adherencia de la capa bituminosa a dichos suelos mediante ensayo o por recomendación de procedimientos de laboratorio y de campo. El método de investigación fue de diseño experimental. Las muestras consistieron en material de cantera utilizado en los diseños suelo-cemento de los tramos 6 y 9, con 3.0 % y 1.5 % de cemento Portland. Durante la investigación, se moldearon muestras a partir de materiales de la cantera Puerto Ene (sección 6) y la cantera Anapati (sección 9) para pruebas de imprimación y adherencia de emulsiones especiales de EAP. Los resultados de las pruebas de imprimación y adherencia indicaron las condiciones óptimas de adherencia de la capa asfáltica a la base cemento-suelo, ya que se obtuvo una tasa de adherencia entre 1 mm y 3 mm. Se concluyó que en cimentaciones tratadas con suelo-cemento, las imprimaciones con emulsiones EAP lograron una mejor permeabilidad, aunque pequeña, pero necesaria ya que deben estar presentes para establecer una capa asfáltica con el tipo de cimentación estable descrito para una óptima adherencia de los puentes.

Cuayla (2) en la tesis “*Pavimentos low cost de base estabilizada con emulsión CSS-1h en las carreteras vecinales de Los Palos - La Yarada - Tacna - 2020*”, el propósito fue demostrar cómo utilizar material propio para crear un pavimento de bajo costo utilizando CSS Emulsión Estabilizada de Fundación en la carretera adyacente de Los Palos - La Yarada - Tacna. El método de investigación científico fue de diseño experimental. La muestra estuvo delimitada por una base estable de 375 m. Por lo tanto, a través del diseño de la relación de mezcla, el asfalto emulsionado CSS-1h se mezcla de acuerdo con la proporción de 2505 y se logra el parámetro de estabilidad seca de

1000 kg y el parámetro de estabilidad saturada de 640 kg, lo que cumple con los requisitos de transporte. Asimismo, los resultados de un ensayo de deflexión en una sección de suelo estabilizado con emulsión asfáltica arrojaron una deflexión de 22×10^{-2} mm, que es menor a la deflexión permisible de 158×10^{-2} y la deflexión crítica de 155×10^{-2} mm. Se concluyó que, la aplicación de la emulsión bituminosa CSS-1h es beneficiosa, ya que reduce los costos en cuanto a adquisición y transferencia de material, optimizando el presupuesto para tramos pavimentados de mayor tamaño.

Torres (3) en la tesis "*Diseño de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica, carretera Yauri - desviación Livitaca (curva 7) región Cusco*", planteó el objetivo de determinar el mejor diseño mejorado de las cimentaciones reforzadas con emulsiones bituminosas catiónicas en la vía de desviación Yauri-Livitaca (7 curvas). El método de investigación fue de diseño experimental. La muestra estuvo constituida por una longitud de 1.970 m acumulados en siete recodos, con material del recodo y de la cantera del río Cañipia utilizado para el mejoramiento de la emulsión asfáltica. Para el desarrollo de la investigación se realizaron levantamientos topográficos, estudios de tránsito, estudios hidrológicos, ensayos de laboratorio de suelos y diseño de pavimentos. La investigación concluyó que el porcentaje óptimo de emulsión bituminosa con relación al peso del árido (sustrato granular + material de cantera Cañipia) fue de 1,8 %. Este es el porcentaje óptimo de emulsión bituminosa para estabilizar la base granular de la carretera Yauri, desviación de Livitaca (7 curvas).

Aliaga y Soriano (4) en la tesis "*Análisis comparativo de la estabilidad del cemento Portland y la emulsión asfáltica en base granular*", el objetivo general fue analizar la estabilidad de las emulsiones asfálticas y de cemento Portland para comparar los resultados de su aplicación en base granular mediante ensayos de laboratorio. El método de investigación fue de diseño experimental. Las muestras consistieron en base granular, cemento Portland Tipo I y emulsión asfáltica, y se probaron con y sin estabilizadores. Para lograr este propósito, se analizaron y consideraron las partículas gruesas y finas de materiales basados en proctor modificado y relación de soporte modificada. La conclusión es que el cemento Portland tiene el mejor efecto estabilizador según pruebas de laboratorio, y según los mejores resultados de pruebas de laboratorio.

Orihuela (5) en la tesis "*Adaptación de la normativa IS-1725 del ensayo de durabilidad para evaluar la adherencia en la mezcla asfáltica en caliente, Huancayo 2019*", el objetivo fue determinar las condiciones especificadas por la IS-1725 en el

ensayo de durabilidad por erosión acelerada para obtener el porcentaje de adherencia de mezclas asfálticas en caliente, en Huancayo 2019. El método de investigación fue científico y tiene un diseño experimental. La muestra consta de 93 muestras como resultado de los 31 puntos de muestra requeridos y 3 puntos por muestra. Para lograr el objetivo propuesto se realizaron ensayos de durabilidad a la erosión acelerada mediante análisis de línea de tendencia de acuerdo con la variación de condiciones para obtener valores precisos de presión, distancia y tiempo de aplicación en muestras de mezcla asfáltica en caliente. Luego, se estableció una correlación entre los cambios en los parámetros del estándar IS-1725 y los resultados de la prueba de adhesión de la cubeta y el Método Universal de Caracterización del Adhesivo (UCL).

Los resultados del ensayo permitieron obtener diferentes porcentajes de pérdida de masa, el ensayo UCL determinó el porcentaje de pérdida de masa a las 100 revoluciones del Cantábrico, se obtuvo una línea de tendencia relacionada con el porcentaje de pérdida de masa hasta las 300 revoluciones de los parámetros en el ensayo de durabilidad. Asimismo, cabe señalar que en esta investigación se consolidó un nuevo ensayo para determinar la durabilidad de las mezclas asfálticas aplicando una presión constante de 2 KPa en el chorro de agua con una distancia de 5 cm hacia la válvula. Muestra: se obtuvo mezclas adecuadas (pérdida de masa inferior al 5 %) e inadecuadas (pérdida de masa superior al 5 %) para estudiar la durabilidad de las mezclas bituminosas tras un tiempo de aplicación controlado de 1 hora cada 15 minutos. Se concluyó que, al aumentar la presión del agua por encima del valor inicial y al reducir la distancia de aplicación, la pérdida de masa fue mayor, por lo que, fue posible lograr una pérdida del 5 % de la prueba de pérdida de masa por aspersión de agua (5).

Gómez y Flores (6) en la tesis “*Uso y aplicaciones de emulsiones asfálticas*”, tuvieron como objetivo dar a conocer el uso y aplicaciones de las emulsiones asfálticas. El método de investigación fue científico, con diseño no experimental. Para lograr el objetivo de la investigación, se presentó la teoría de las investigaciones, entre las que se destacó la clasificación, proceso de fabricación, entre otros; del mismo modo, se describió el procedimiento constructivo de la aplicación de emulsión asfáltica. Finalmente, desarrollaron la aplicación de *Slurry seal*, que es la lechada asfáltica más utilizada en el Perú. Los resultados de la aplicación de *Slurry seal* se agruparon en emulsiones de acuerdo a las condiciones climáticas y se clasificaron en tres tipos de acuerdo al tamaño de agregados utilizados, de los que se obtuvo espesores mínimos de 4 mm, 6 mm y 8 mm para los tipos I (sello fino y relleno de grietas); II (sello general en superficies de textura media) y III (1ra y 2da capa en superficie de textura alta).

Concluyendo que, el diseño de mezcla de la lechada asfáltica cumple con las especificaciones y parámetros que recomiendan las normas.

Rolando (7) en la tesis "*Estudio comparativo entre RC-250 diluido y mezclas asfálticas en emulsión*", el objetivo general fue realizar un estudio comparativo de mezclas asfálticas diluidas y emulsionadas. En el estudio descrito se realizaron pruebas de laboratorio tanto en mezclas asfálticas como en diluyentes y emulsiones. Para la dilución se utilizó RC-250, y la emulsión bituminosa elegida corresponde al tipo catiónico de ruptura lenta por tener una mejor afinidad con los áridos utilizados. Su trabajo concluyó que, usar una emulsión asfáltica es una mejor alternativa que diluir RC-250 y que obtener una mezcla de ácido láctico con la emulsión mejora la calidad y la durabilidad.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Granados (8) en la tesis "*Estimación del tiempo adecuado de curado de la emulsión asfáltica CRS - 1 para iniciar el proceso de pavimentación de sobrecapas asfálticas en Costa Rica*", el objetivo fue estimar el tiempo de curado adecuado de una emulsión asfáltica catiónica de fraguado rápido y baja viscosidad en condiciones controladas de laboratorio antes de comenzar el proceso de colocación de la capa asfáltica. Método de investigación científico fue de diseño experimental. Se caracteriza la mezcla y la emulsión asfálticas para comprobar si su desempeño cumple con las especificaciones requeridas para lograr los objetivos propuestos, el ensayo consiste en aplicar la emulsión asfáltica a la superficie de un bloque de mezcla asfáltica rodando con aros de goma, los cilindros representan la llanta con presión sobre el pavimento. Cabe señalar que el cilindro rodó 5 veces diferentes, con el fin de obtener la pérdida de masa de la emulsión y determinar el tiempo de curado. Los resultados demostraron que la calidad de la emulsión disminuyó con el tiempo debido al arrastre de la emulsión en el caucho y la evaporación del agua de la emulsión. Se concluyó que, el tiempo de curado fue de 40 min 11 s que corresponde a la emulsión CRS-1 PGA, que puede ser utilizada como referencia o tiempo mínimo para iniciar la colocación de la capa asfáltica en Costa Rica, una vez aplicado el riego de alianza.

Rojas et al. (9) en su artículo científico "*Design methodology microsurfacing low-cost soil sandy organic silt (OL) type*", el objetivo principal es brindar al lector las pautas básicas para el manejo adecuado de la fracción de estabilización de suelos de tipo limo orgánico arenoso (OL) y tipo limo arenoso (OM) ya que para ambos tipos de suelo se trata de silano para la estabilización. Este documento debe ser utilizado como

referencia y como ayuda para los profesionales y usuarios a la hora de establecer sus propias especificaciones en sus proyectos en función de los tipos de suelo que encuentren, siempre que se topen con alguno de los dos tipos de suelo mencionados. Es bien sabido que el diseño estructural de un pavimento o micropavimento se basa en el porcentaje de CBR de subrasante o subrasante mejorada, para ello se realizaron investigaciones para reducir costos y estabilizar la subrasante. El diseño del micropavimento se realizó con una emulsión catiónica del tipo CSS-1H-P, debido a la menor velocidad de rotura de esta emulsión, se incluye a la mina Pintag en el trabajo para la fabricación de un micropavimento del tipo 3, y su diseño se destacó, ya que se trata de una emulsión bituminosa al 14,15 %, este valor se obtuvo por el método de Duriez.

Paba y Vásquez (10) en su trabajo "*Desempeño de ligantes de asfalto usados como riegos de alianza en ligantes de mezclas asfálticas, usando el método LCB*". El objetivo general fue determinar el rendimiento del riego combinado mediante el método LCB a través de ensayos de cizallamiento en laboratorio. Método de investigación fue de diseño experimental. Para lograr los objetivos propuestos, el laboratorio ensayó dos tipos de mezclas asfálticas típicas (base y rodadura) con asfalto cauchutado y un paquete estructural de asfalto convencional utilizando mezcla tipo MD-20 como base asfáltica, de manera que, se puede obtener un cierto tipo de comportamiento. Con base en los resultados de laboratorio, se puede determinar que las emulsiones asfálticas que contienen látex o aglomerantes asfálticos cauchutados brindan una mejor resistencia a las fuerzas de corte entre capas. El documento concluye que, el asfalto emulsionado con un ligante de caucho asfáltico puede resistir mejor las fuerzas de corte entre las mantas, lo que reduce el riesgo de fallas, degradación prematura, costos de mantenimiento y desplazamiento de las mantas enrolladas. La principal ventaja es la durabilidad del paquete de estructura.

Sarmiento (11) en la tesis "*Análisis de la aplicación de bases estabilizadas con capa de protección asfáltica en los plazos, costos y calidad de construcción en la vía Pindal - Milagros - Paletillas y su impacto en la red terciaria de la provincia de Loja*", el objetivo general fue analizar la aplicación de emulsiones bituminosas y capas de emulsión bituminosa para estabilizar subrasantes en cuanto a condiciones, costos, calidad de construcción de la vía Pindal - Milagros - Paletillas y su impacto en la red terciaria de la provincia de Loja. El método de investigación fue de diseño experimental. La muestra estuvo constituida por material granular de la vía Pindal - Milagros - Paletillas. Para lograr los objetivos propuestos, se analizó la aplicación de

emulsionantes bituminosos con piedra en la industria y se realizó a través de pruebas de laboratorio, seguido de una comparación de diferentes tipos de capas de desgaste y sus estructuras al estándar de inversión inicial por kilómetro, la efectividad acorde al costo anual y fácil mantenimiento de la estructura. Los resultados demostraron que, además de mejorar la calidad de la construcción, la aplicación de micropavimentos y base asfáltica emulsionada estabilizada también puede reducir el tiempo y el costo de construcción, ya que el costo directo de los equipos por kilómetro construido y el tiempo de ejecución pueden reducirse hasta en un 20 % en comparación con las capas de asfalto. Se concluyó que, la mezcla de betún frío con emulsión bituminosa y agregados en la región tendría un impacto en la construcción de pavimentos de caminos rurales de bajo tránsito en la provincia de Loja, desde una perspectiva económica, ambiental y social.

Cornejo (12) en la tesis "*Análisis de la optimización del riego liga en la colocación de carpeta de asfalto caliente*", los resultados muestran que además de mejorar la calidad de la construcción, la aplicación de micropavimentos y base asfáltica emulsionada estabilizada también puede reducir el tiempo y el costo de construcción, ya que se puede reducir hasta en un 20 % el costo directo de los equipos por kilómetro construido y el tiempo de construcción en comparación con la capa de asfalto. Se concluyó que, la mezcla de betún frío con betún emulsionado y agregado en la región tendría un impacto en la construcción de pavimentos de caminos rurales de bajo tránsito en la provincia de Loja desde el punto de vista económico, ambiental y social.

Sapei y Gonzáles (13) en el artículo científico "*Emulsión de imprimación, su aporte en la adherencia*", el objetivo general fue evaluar la contribución del riego de imprimación, cuantificar la infiltración e interpretar la cantidad de emulsión según el tipo de suelo y la temperatura. Concluyeron en su estudio que, con base en las pruebas realizadas, las emulsiones son importantes para una buena adherencia, dependiendo del tipo de base que se alcance. La tensión tangencial de la unión está entre 0,4 y 0,6 MPa, lo que permite optimizar el material en la capa de unión. Hay que prestar atención al curado de la imprimación, si no se hace tendrá poca adherencia y acabará dejando residuos indeseados en la superficie.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Estructura vial

2.2.1.1. Micropavimento

Es la fabricación de mezclas bituminosas frías y se lleva a cabo la estratificación adecuada sobre la superficie preparada. El micropavimento tendido en la vía debe cumplir con los principales requisitos descritos por el Ministerio de Transporte, ya sea un material monolítico (mezcla asfáltica fría) o descompuesto (agregado o relleno de accidentes).

Tabla 1. Requerimiento para agregado pétreo

Ensayos	Norma	Requerimiento altitud (m s. n. m.) >3000
Durabilidad (al sulfato de sodio)	MTC E 210	12 % máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	25 % máx.
Adherencia Riedel-Weber	MTC E 220	4 mín.
Adherencia método estático	ASTM D 1664	Mín. 95 %
Equivalente de arena	MTC E 114	Mín. 60 %
Caras fracturadas	MTC E 210	100 %
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.

Nota: tomada del Manual de Carreteras - especificaciones técnicas para la construcción (14)

El micropavimento está compuesto por una mezcla de asfalto frío; la mezcla de asfalto frío es una combinación de agregado de piedra y emulsión asfáltica a temperatura ambiente. El material granular debe encontrarse en la aplicación de tamaño de partícula indicada en el Código técnico de construcción manual de carreteras.

Tabla 2. Gradación para micropavimento

Tamiz	Porcentaje que pasa			
	Tipo M-I	Tipo M-II	Tipo M-III	Tipo M-IV
12,5 mm (1/2")				100
9,5 mm (3/8")	100	100	100	85-98
4,75 mm (N.º 4)	85-95	62-80	45-70	62-80
2,5 mm (N.º 8)	60-80	45-65	28-50	41-61
1,25 mm (N.º 16)	40-60	30-50	18-34	28-46
0,63 mm (N.º 30)	25-42	18-35	12-25	18-34
0,315 mm (N.º 50)	15-30	10-24	7-17	11-23
16 µm (N.º 100)	10-20	5-15	5-11	6-15
75 µm (N.º 200)				4-9

Nota: recuperada del Manual de Carreteras - especificaciones técnicas para la construcción (14)

2.2.1.2. Base estabilizada con cemento

La base estabilizada con cemento es una combinación física de agregado, cemento y agua, que se endurece después de la compactación y el curado. También se denominan bases estabilizadas con cemento o bases de áridos tratados con cemento. El resultado de usar cemento como base estabilizadora es usar un espesor menor que la base de partículas requerida para soportar el mismo tránsito, porque la base de agregado estabilizada con cemento hará que la carga se distribuya en un área mayor, como se muestra en la figura 3.

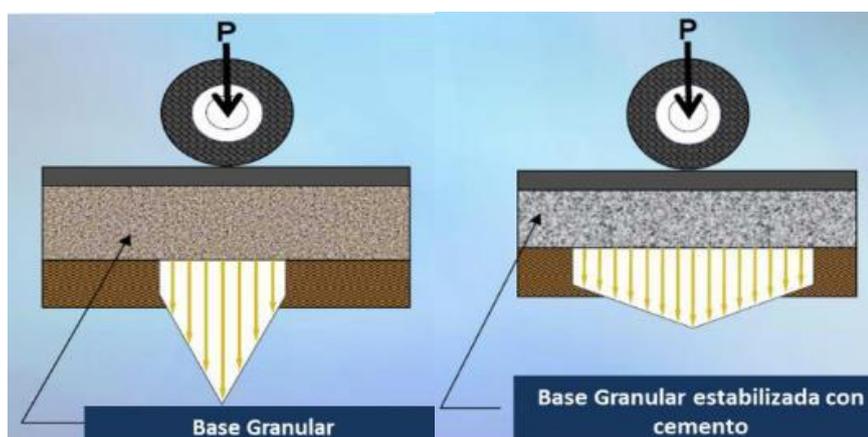


Figura 3. Diferencias entre base granular y base granular estabilizada con cemento

Esta falla ocurre cuando las partículas del suelo del lecho de la carretera son empujadas hacia arriba por la carga del tráfico y penetran en el fondo. La base de agregado estabilizado con cemento es realmente impermeable, lo que la hace resistente al enfriamiento y la circulación del agua de lluvia y los daños

causados por el cambio climático. Además, como resultado del fenómeno de hidratación del cemento, este continúa ganando resistencia con el tiempo.

La *Portland Cement Association* señaló que la capa base granular está compuesta por una o más capas, ya sea de obtención natural o procesada, con o sin estabilizadores o aglutinantes, estas capas han sido aprobadas para existir en la capa base.

Tabla 3. Granulometrías para base granular

Tamiz	Porcentaje que pasa
	Gradación A
50.0 mm (2")	100
4,75 mm (N.º 4)	55-90
2,00 mm (N.º 10)	37-67
75 µm (N.º 200)	0-30
Fondo	10 máx.

Nota: recopilado del *Portland Cement Association PCA*

Tabla 4. Requerimiento del agregado grueso

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos	
				Altitud	
				< 3000 m s. n. m.	≥ 3000 m s. n. m.
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821			80 % mín.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		80 % mín. 40 % mín.	50 % mín. 40 % máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131		40 % máx.	
Partículas chatas y alargadas (1)			T 96	15 % máx.	15 % máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	D 4791		0,5 % máx.	0,5 % máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	D 1888 C 88	T 104		18 % máx.

Nota: recopilado del ASTM D 1241

En las tablas 4 y 5 se observan los requerimientos que debe tener el material pétreo para ser empleado como base granular.

Tabla 5. Requerimiento del agregado fino

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		Altitud	
		< 3000 m s. n. m.	≥ 3000 m s. n. m.
Índice plástico	MTC E 111	4 % máx.	2 % mín.
Equivalente de arena	MTC E 114	35 % mín.	45 % mín.
Sales solubles	MTC E 219	0,5 % máx.	0,5 % máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	--	15 %

Nota: recopilado del ASTM D 1241

Se puede usar un agregado de grano más fino, pero el contenido de cemento requerido puede ser mayor. El aumento de material grueso tiende a

reducir en cierta medida la necesidad de cemento, ya que las partículas finas que necesitan cemento para adherirse son reemplazadas por material grueso. A medida que aumentaba el porcentaje de partículas gruesas, aumentaba la densidad total del agregado, pero disminuía la densidad de la fracción que pasaba por el tamiz de 4,75 mm (#4).

Demasiado material grueso dificulta la compactación de una matriz de grano fino. La densidad adecuada en la fracción de grano fino es muy importante, ya que es en esta fracción donde ocurre la mayor parte de la cementación y forma la matriz que mantiene unidos los granos gruesos.

2.2.1.3. Riego de liga

Se aplica a la superficie base preparada para recibir la capa de pavimento para evitar la desintegración de la base existente. Debe usarse directamente después del procesamiento sin agregar solventes o elementos que cambien sus propiedades (15).

Tabla 6. Especificaciones para asfaltos líquidos

Tipo	Material Bituminoso Diluido					
	MC-30		MC-70		MC-250	
	min	máx.	min	máx.	min	máx.
Pruebas sobre el material bituminoso						
-Viscosidad Cinemática a 60°C, cSt	30	60	70	140	250	500
-Punto de Inflamación, °C	38		38		66	
-Ensayo de destilación	-	25	-	20	-	10
-Destilado, porcentaje por volumen del total de destilado a 360 °C	40	70	20	60	15	55
-a 225 °C	75	93	65	90	60	87
-a 260 °C	50	-	55	-	67	-
-a 315 °C	30	120	30	120	30	120
Residuo del destilado a 360 °C, % en volumen por diferencia	-300	-1.2	-300	-1.2	-300	-1.2
Pruebas en el residuo de destilación						
Viscosidad Absoluta a 60°C, Pa.s., (P ₁) ^(*)	100	-	100	-	100	-
Ductilidad a (25°C), 5 cm/min, cm Solubilidad en Tricloro – etileno, % Ensayo de la Mancha (Oliensies) (**)	99,0	-	99,0	-	99,0	-
Solvente Nafta – Estándar	Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, % Xileno	Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, % Xileno	Negativo		Negativo		Negativo	

2.2.2. Tipos componentes para riego de liga

2.2.2.1. Asfalto recortado

- **Curado rápido:** la permeabilidad es 80/120, el solvente es gasolina. Se utiliza para riego combinado y tratamiento superficial y se clasifica como (RC-70, RC-250, RC-800 y RC-3000) (14).
- **Curado medio:** la permeabilidad es 120/250, el solvente es queroseno. Para uso en baches con humectabilidad, que permite el agregado revestido, clasificado como (MC-30, MC-70, MC-250, MC-800 y MC-3000) (14).

Tabla 7. Especificaciones para asfalto recortado

Tipo	Material bituminoso diluido									
	MC-30		MC-70		MC-250		MC-800		MC-3000	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Pruebas sobre el material bituminoso										
-Viscosidad cinemática a 60 °C, cSt	30	60	70	140	250	500	800	1.6	3000	6
-Punto de inflamación, °C	-	0,2	-	0,2	-	0,2	-	0,2	-	0.2
Pruebas en el residuo de destilación										
-Destilado, porcentaje por volumen del total de destilado a 360 °C										
-a 225 °C	-	25	-	20	-	10	-	-	-	-
-a 260 °C	40	70	20	60	15	55	-	35	-	15
-a 315 °C	75	93	65	90	60	87	45	80	15	75
Residuo del destilado a 360 °C, % en volumen por diferencia	50	-	55	-	67	-	78	-	80	-
Pruebas en el residuo de destilación										
Viscosidad absoluta a 60 °C, Pa.s., (P) ^(*)	30	120	30	120	30	120	30	120	30	120
Ductilidad a (25 °C), 5 cm/min, cm	-300	-1.2	-300	-1.2	-300	-1.2	-300	-1.2	-300	-1.2
Solubilidad en tricloro – etileno	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-
Ensayo de la mancha (Oliensies) (**)	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-
Solvente nafta – estándar	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente nafta – xileno, % xileno	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente heptano – xileno, % xileno	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	

- **Curado lento:** La permeabilidad es 200/300 y el solvente es Diesel. Se utiliza para encontrar el mismo adhesivo durante y después del curado, clasificado como (SC-70, SC-250, SC-800 y SC-3000).

2.2.2.2. Emulsión asfáltica

Son dos fases llamadas continua y discreta.

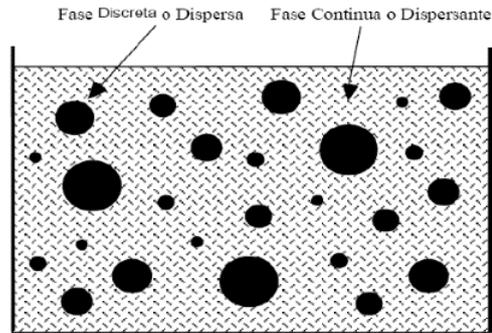


Figura 4. Esquema de una emulsión

Para obtener una emulsión, debe existir un emulsionante, un componente químico que cambia la tensión superficial o interfacial de un líquido cuando se disuelve en él. Hay dos tipos de emulsionantes (aniónicos y catiónicos) (16).

Las emulsiones se clasifican por su velocidad, por el betún residual y su tipo.

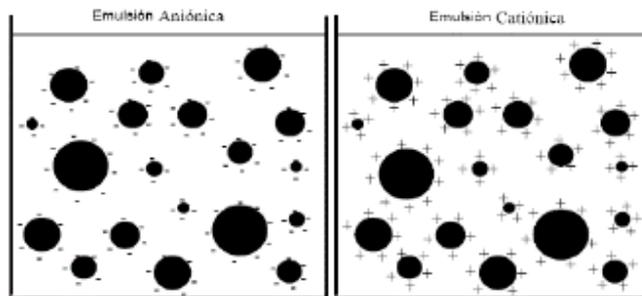


Figura 5. Tipo de emulsiones

La emulsión asfáltica está compuesta por 3 agentes que son el cemento asfáltico, emulsificante y agua.

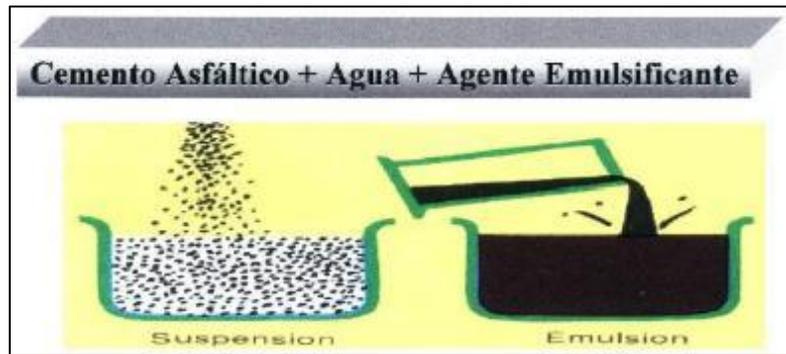


Figura 6. Composición de la emulsión

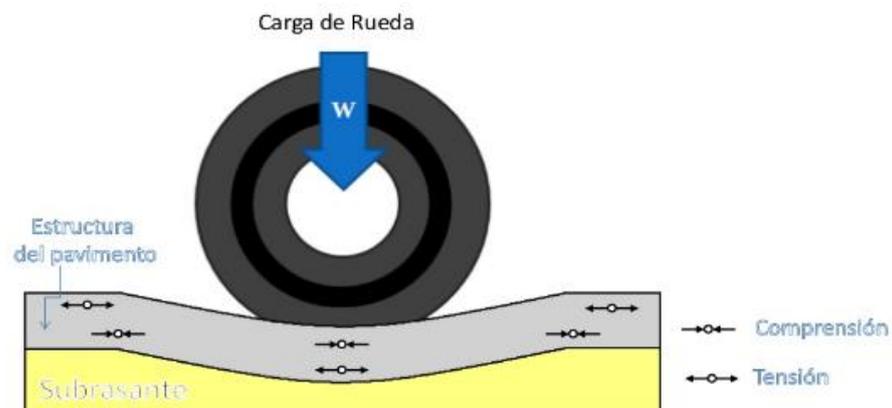
Dispersión de asfalto en agua, suspendida con ayuda de un emulsificante. Teniéndose como no visibles al agua y el asfalto.

Tabla 8. Temperaturas de emulsiones asfálticas

Grado	Temperatura	
	Mín.	Máx.
CRS-1, CRS-2, HFRS-2	50	85
CSS-1, CSS-1h	10	60
CMS-2, CMS-2h	50	85

2.2.3. Esfuerzos y deformaciones en una estructura vial

Bajo la acción de la carga, la estructura vial presenta un estado de deformación (deflexión) que produce gradualmente un desplazamiento vertical.



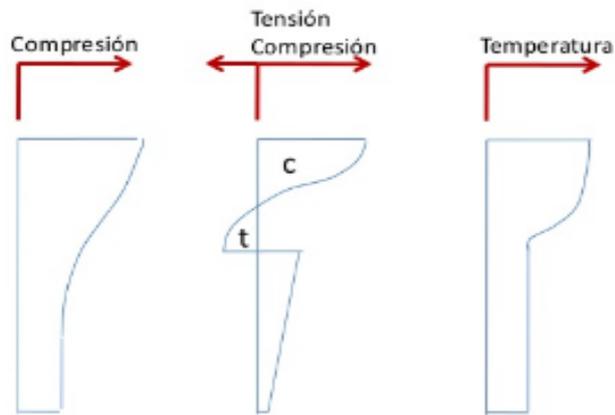


Figura 7. Pavimento sometido a carga con modelo de Boussinesq

2.2.4. Ensayo de tracción de Lottman

El ensayo de tracción indirecta es un método sencillo que permite que un pavimento flexible soporte una carga máxima en función de su resistencia a mezclarse antes de romperse. Incluye compresión, donde una muestra cilíndrica se carga uniformemente a lo largo de las líneas superior e inferior.

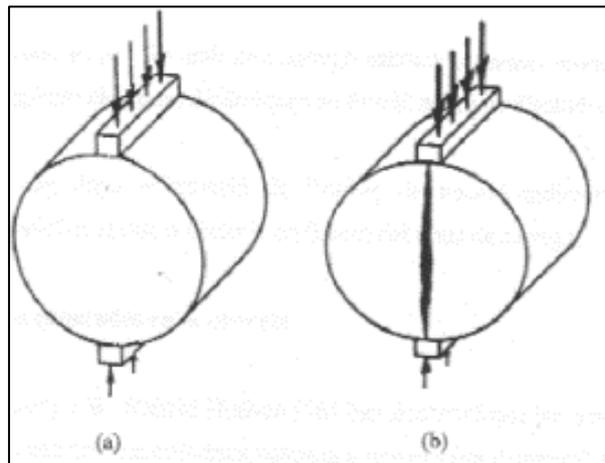


Figura 8. Configuración de cargas y su rotura

El rodamiento es similar a la prueba de Marshall, utilizando el mismo equipo, la fractura no se ve afectada por la condición de la muestra, la fractura es inducida uniformemente por la tensión de tracción. Proporciona no solo resistencia, sino también propiedades elásticas, de agrietamiento térmico, fatiga y deformación para evaluar los efectos de la humedad.

2.2.5. Ensayo de corte LCB

En el diseño de pavimentos, cuando se calculan los modos que gobiernan la estructura del pavimento flexible, se asume que las fijaciones de asfalto estarán completamente unificadas, es decir, funcionarán como un todo o como una sola capa.

El ensayo de cortante LCB (Laboratorio de Carreteras de Barcelona) es un ensayo práctico desarrollado por la Universidad de Cataluña en España para medir la resistencia al cortante tangencial provocada por la fuerza aplicada entre la combinación de dos capas asfálticas. También se midió la deformación de una capa con respecto a la otra.

Este ensayo permite evaluar la influencia de diferentes fuerzas de adherencia o riesgos de adherencia de distintos tipos de betún residual por fallo de muestras fabricadas en laboratorio y control de calidad de las muestras tomadas. El siguiente diagrama muestra los patrones de falla y los conceptos asociados con las pruebas anteriores.

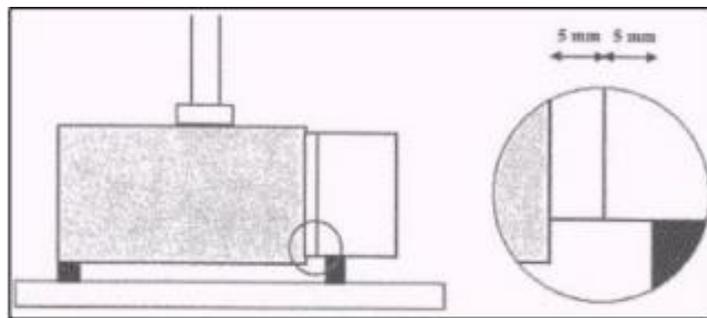


Figura 9. Ensayo de corte por cizallamiento

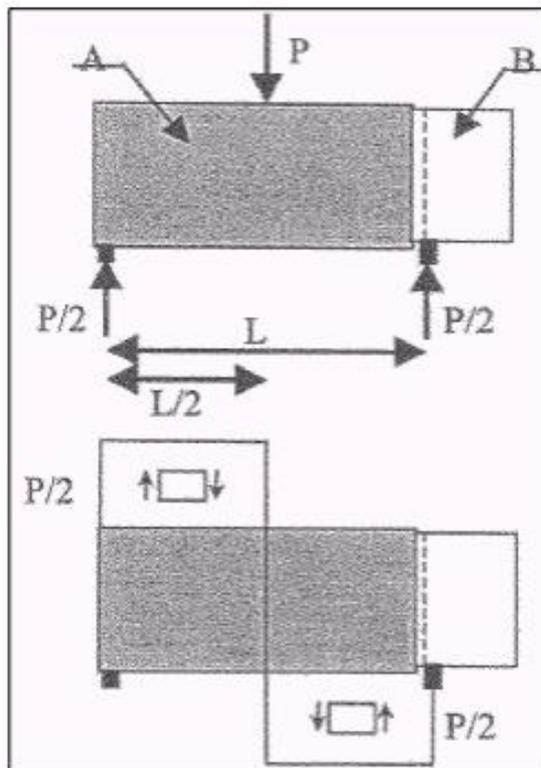


Figura 10. Esquema de esfuerzos y tensiones durante el ensayo de corte LCB

2.2.5.1. Ensayo NLT-382/08

Este ensayo describe el procedimiento para determinar la adherencia entre capas de mezcla asfáltica o entre capas de mezcla asfáltica y las capas de material de tratamiento aglomerado hidráulicamente que componen el pavimento.

A) Materiales y equipos

Máquina de prensa: la máquina de prensa, de funcionamiento mecánico o servohidráulico, puede aplicar una carga de 50 KN y la velocidad uniforme al aplicar la carga es de 2,5 mm/min.

Caja del termostato: termostato capaz de contener muestras de prueba y mantener una temperatura de 20 +/- 1 °C.

Calibradores: mide el diámetro de la muestra de prueba con una precisión de +/- 0,1 mm.

Dispositivo de corte: el dispositivo de aplicación de carga debe generar una fuerza de corte en la interfaz de las dos capas bajo prueba.

Como se muestra en la figura 11, el dispositivo es una mordaza removible que se divide en dos mitades según los planos de corte de las dos barras opuestas. Las mordazas deben tener un diámetro interno de 101,6 mm o 150 mm y estar provistas de un sistema de cierre con tornillos u otro procedimiento adecuado. La interfaz debe sobresalir 5 mm del extremo de la abrazadera. Una vez colocado el testigo en la abrazadera y cerrado, el conjunto descansa horizontalmente sobre la base con los dos puntos de apoyo separados 188 mm, como se muestra en la figura 12. La distancia entre la interfaz que separa a los testigos y el punto de apoyo más cercano a dicha interfaz será también de 5 mm.

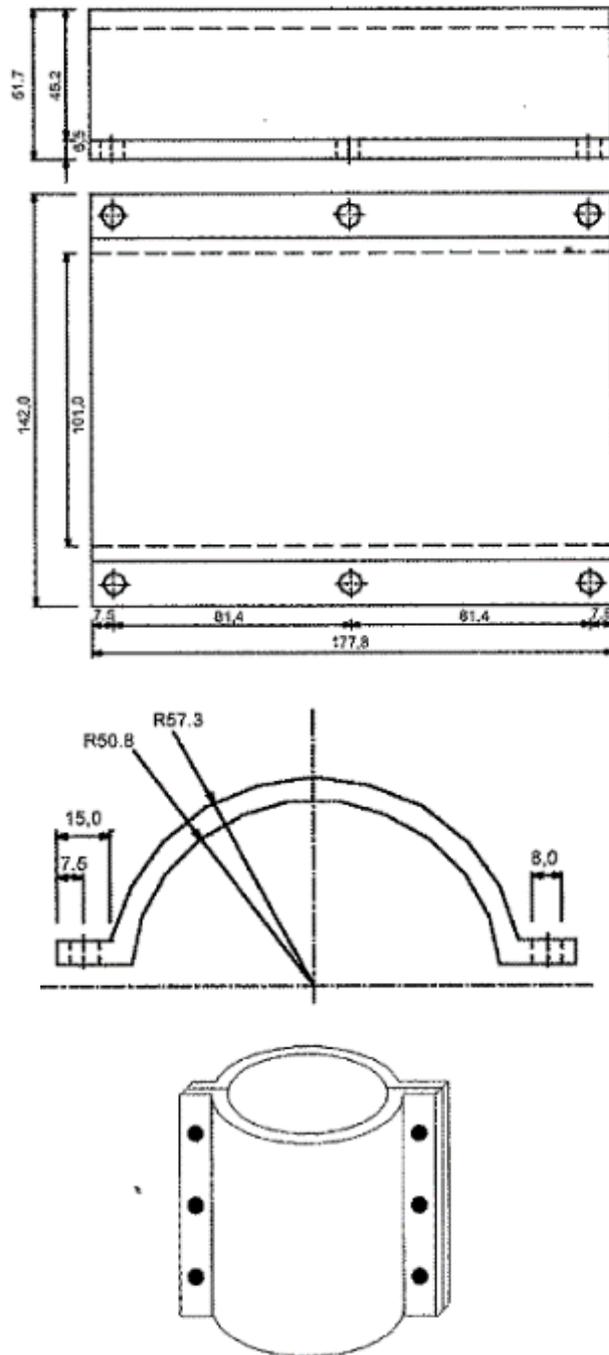


Figura 11. Mordaza en dos mitades cilíndricas

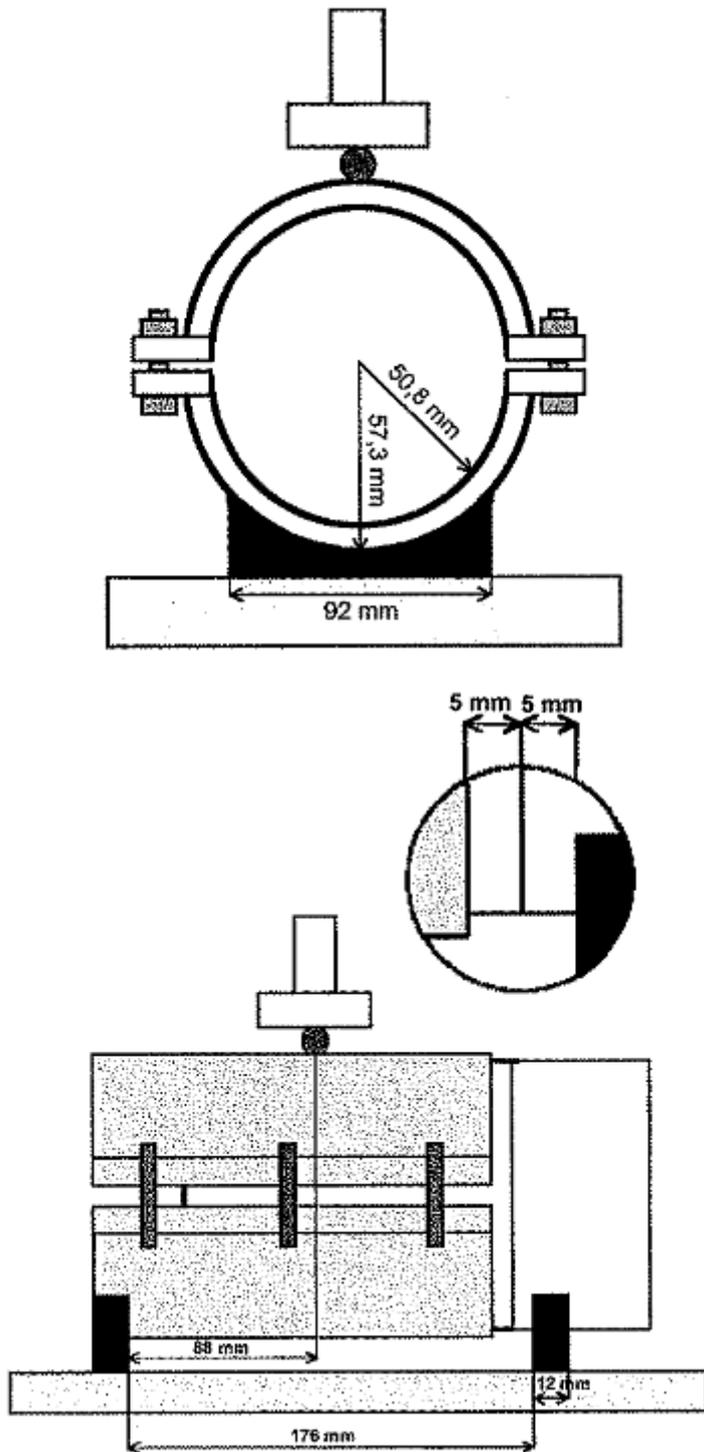


Figura 12. Dispositivo de ensayo

B) Procedimiento

Muestra de ensayo: las muestras tienen un diámetro constante en toda su longitud y están libres de irregularidades en la superficie lateral que podrían impedir su colocación adecuada en el aparato de prueba.

La interfaz entre capas será perpendicular al eje longitudinal del núcleo con una desviación máxima aceptable de un plano perpendicular a dicho eje de 5 mm para un diámetro de núcleo de 100 mm y de 7,5 mm para un diámetro de núcleo de 150 mm, como se muestra en la figura 13.

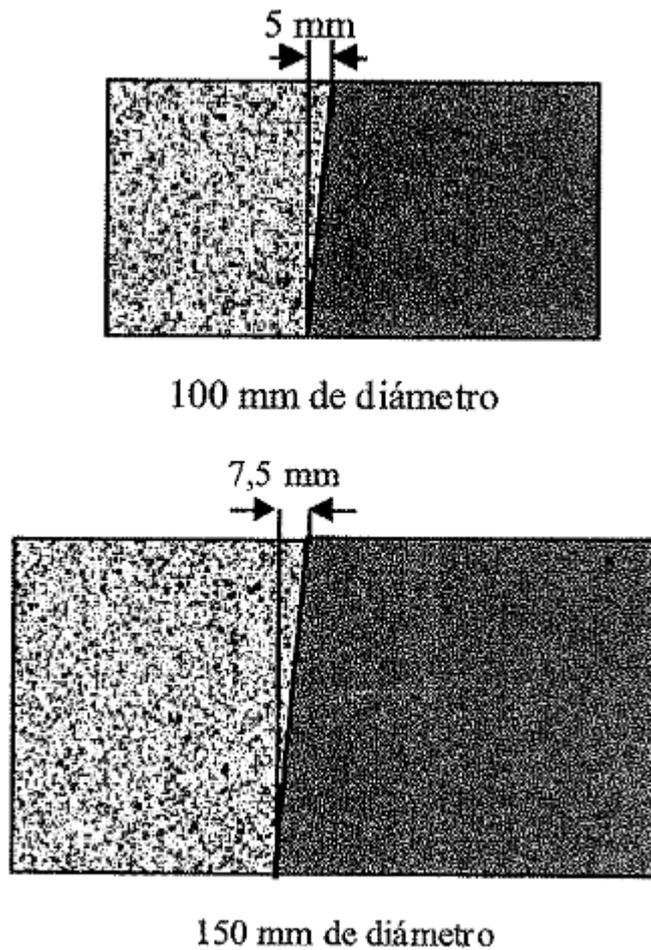


Figura 13. Desviación máxima aceptable

La siguiente figura muestra una ejecución típica de una prueba de corte con la carga máxima y la deformación resultante para ese valor de carga máximo indicado.

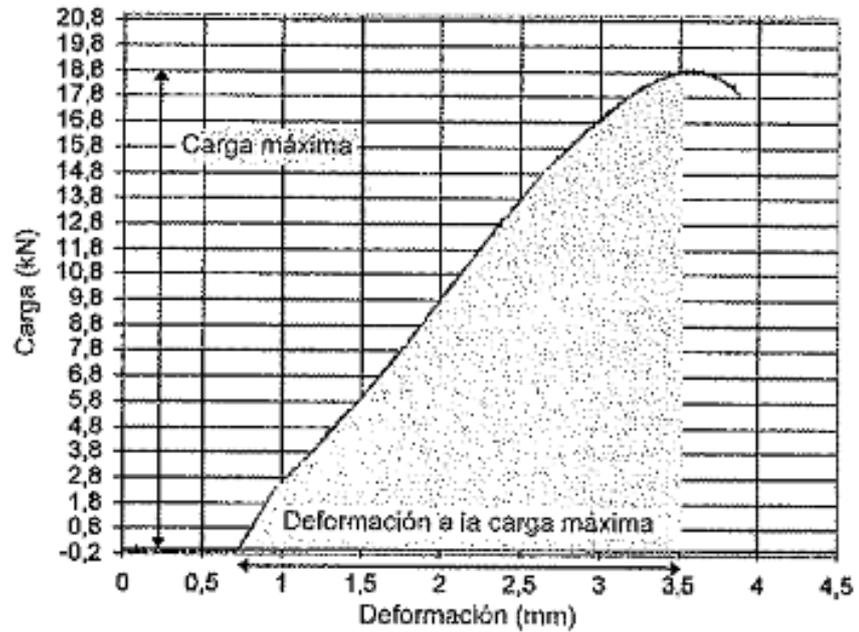


Figura 14. Curva de carga y deformación del ensayo

C) Resultados

Luego de obtener el diagrama carga-deformación de cada testigo se determinan las magnitudes:

Carga máxima de rotura, $F_{m\acute{a}x}$, expresada en N o kg.

Resistencia a esfuerzo cortante, T_c , calculada a partir de la carga máxima de rotura mediante la expresión:

$$T_c = (F_{m\acute{a}x}/2) / S$$

Donde

S es la superficie de la sección transversal en mm^2

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

2.3. Variables

2.3.1. Variable independiente

Riego de liga

2.3.2. Variable dependiente

Efectividad mecánica del riego de liga

2.4. Operacionalización de variables

Tabla 9. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
Riego de liga (independiente)	En el riego de liga se utiliza dos tipos de asfalto, donde uno es la emulsión asfáltica y los asfaltos recortados.	D1: asfalto recortado D2: emulsión asfáltica D3: condición de colocación	I1: MC - 30 I2: RC - 250 I3: rotura rápida I1: dosificación I2: temperatura de aplicación I3: tipo de ligante
Efectividad mecánica del riego de liga (dependiente)	Los componentes de una estructura vial deben de trabajar en conjunto y la forma para que esta sea efectiva es realizando el riego de liga, que adhiere el micropavimento y base estabilizada.	D1: resistencia a la tracción indirecta D2: resistencia al corte D3: resistencia a la erosión	I1: asfalto recortado I2: emulsión asfáltica I3: tracción del molde de micropavimento y base estabilizada I1: asfalto recortado I2: emulsión asfáltica I3: corte del molde de micropavimento y base estabilizada I1: asfalto recortado I2: emulsión asfáltica I3: nivel de erosión del molde de micropavimento y base estabilizada

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

La metodología de investigación de este trabajo es científica, ya que se basa en ensayos de laboratorio para medir la resistencia del betún de riego de unión para obtener la composición adecuada. «El método científico es el procedimiento que se sigue para dar respuesta a las preguntas de investigación relativas a diversos fenómenos que ocurren en la naturaleza y que afectan a la sociedad» (17).

3.2. Tipo de investigación

Este tipo de investigación es aplicada porque resolverá los problemas que plantea el comportamiento de riego de MC-30, RC-250 y la emulsión asfáltica CSS-1H en términos de antitracción, anticorte y antierosión. Aplicable al problema de la ciudad. «Este tipo de investigación tiene dos propósitos básicos: a) generar conocimiento y teoría (investigación básica) y b) resolver problemas (investigación aplicada)» (17) (p. 33).

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo, porque el propósito es comprender el impacto del asfalto (MC-30, RC-250 y CSS-1h) sobre la resistencia a tracción, resistencia al corte y resistencia a la erosión en la interfaz del riego de liga entre el micropavimento y la base estabilizada. «La investigación explicativa va más allá de la descripción de conceptos, fenómenos o el establecimiento de relaciones entre conceptos; están diseñadas para responder a las causas de eventos físicos o sociales, y se centran en explicar el por qué y en qué condiciones ocurre» (17) (p. 38).

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es cuasiexperimental, ya que se realizó una prueba de laboratorio certificada en la que una de las variables, como el tipo de asfalto regado ligado, será manipulada deliberadamente para obtener su resistencia a la tracción, resistencia al corte y resistencia a la erosión. «Se trata de una encuesta que valida hipótesis mediante la manipulación “deliberada” de una de las variables por parte de los investigadores» (17) (p. 15).

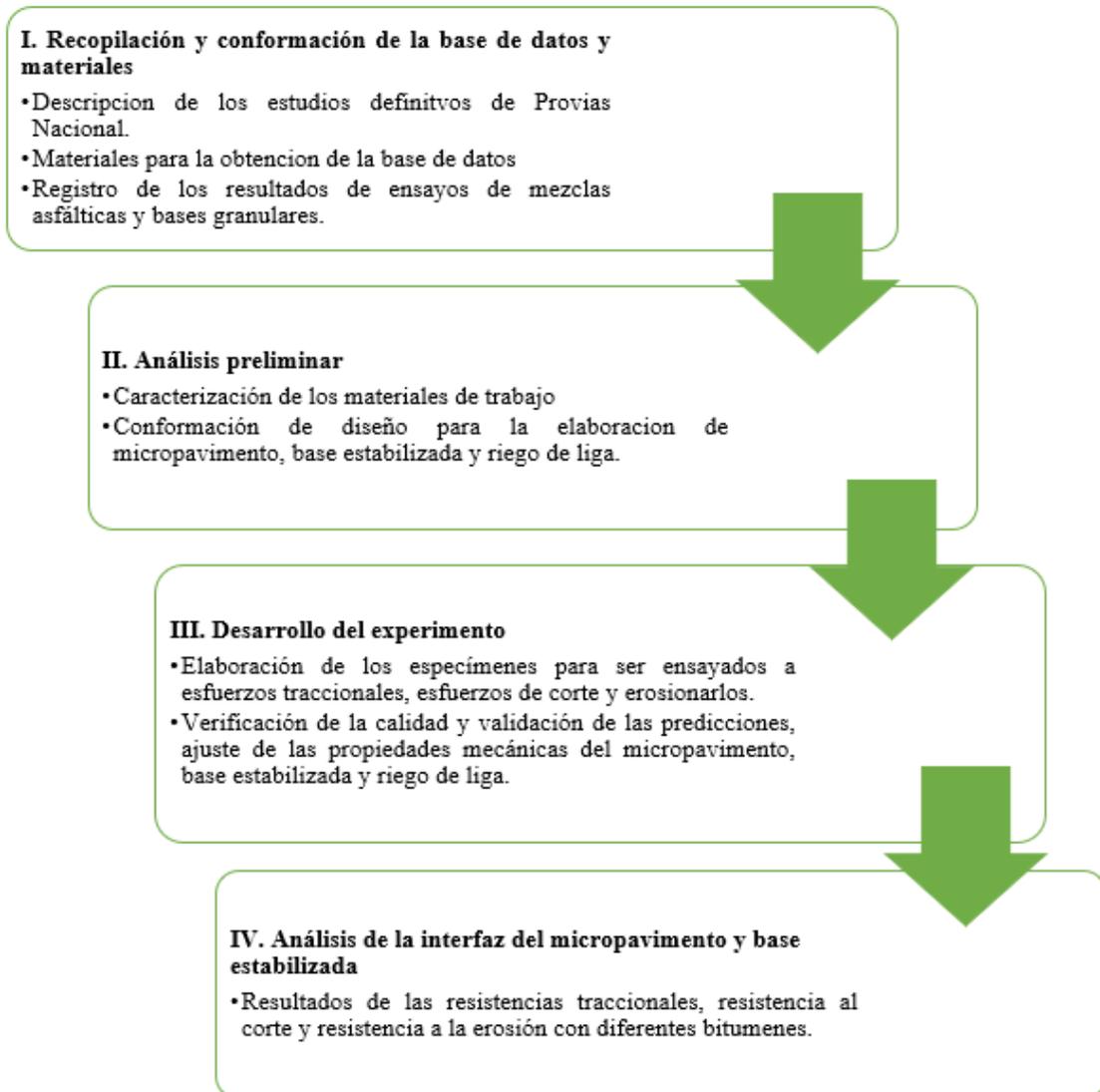


Figura 15. Esquema propuesto del proceso experimental

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de la investigación, se encuentra conformada por 90 briquetas de 4” de diámetro y 15 cm de longitud. Las cuales se emplearon en los ensayos de resistencia a tracción indirecta, resistencia al corte y resistencia a erosión.

3.5.2. Muestra

La muestra es igual a la población, por lo cual se encuentra delimitada por las 90 briquetas.

3.6. Técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1. Técnicas

En el estudio se utilizó la técnica de la observación sistemática porque permitió la recolección y clasificación de la información a partir de pruebas realizadas en el laboratorio para examinar, interpretar y sacar conclusiones sobre el comportamiento de cada variable.

3.6.2. Instrumentos

Las herramientas en las que se basó esta investigación fueron trabajos, artículos científicos y normativas nacionales e internacionales disponibles. En el laboratorio, el formulario de observación se utilizó para recopilar información.

3.7. Validación

La validez es el grado de confianza en que los resultados experimentales se interpretan correctamente y son efectivos (logrados cuando se controlan). En este sentido, la validez de la información se consigue mediante certificados de laboratorio (17).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización del suelo

4.1.1. Caracterización del suelo

Para iniciar el proceso experimental se procedió a caracterizar el suelo de la cantera de Umuto, obteniendo un análisis granulométrico, como se observa en la tabla 10 y su respectiva clasificación que se observa en la tabla 11.

Tabla 10. Análisis granulométrico del suelo de la cantera de Umuto

Tamiz		Peso (g)		Porcentaje (%)		
(in)	(mm)	Usado	Reten.	Parc.	Acum.	Pasa
3"	75.800		0			
2 1/2"	63.300		0			
2"	50.800					100.0
1 1/2"	38.100		259.1	1.6	1.6	98.4
1"	25.400		842.2	5.2	6.8	93.2
3/4"	19.000		647.8	4.0	10.8	89.2
1/2"	12.500	16196.00	1,959.7	12.1	22.9	77.1
3/8"	9.500		1,765.5	10.9	33.8	66.2
#4	4.750		3,579.2	22.1	55.9	44.1
#10	2.000		2,105.0	14.0	69.9	30.1
#20	0.840		1,199.0	8.0	77.9	22.1
#40	0.425		632.0	4.2	82.1	17.9
#60	0.250		437.0	2.9	85.0	15.0
#100	0.150		308.0	2.0	87.1	12.9
#200	0.075		696.0	4.6	91.7	8.3
Fondo	0.000		1,250.0	8.3	100.0	0.0

Tabla 11. Clasificación y coeficientes del suelo granular

Clasificación			Coeficientes				
SUCS	AASHTO	Descripción AASHTO	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	Cu	Cc
GP GM	A-1-a	Bueno	8.17	1.99	0.14	59.89	3.55
Leyenda:		Cu: coeficiente de uniformidad	Cc: coeficiente de curvatura				

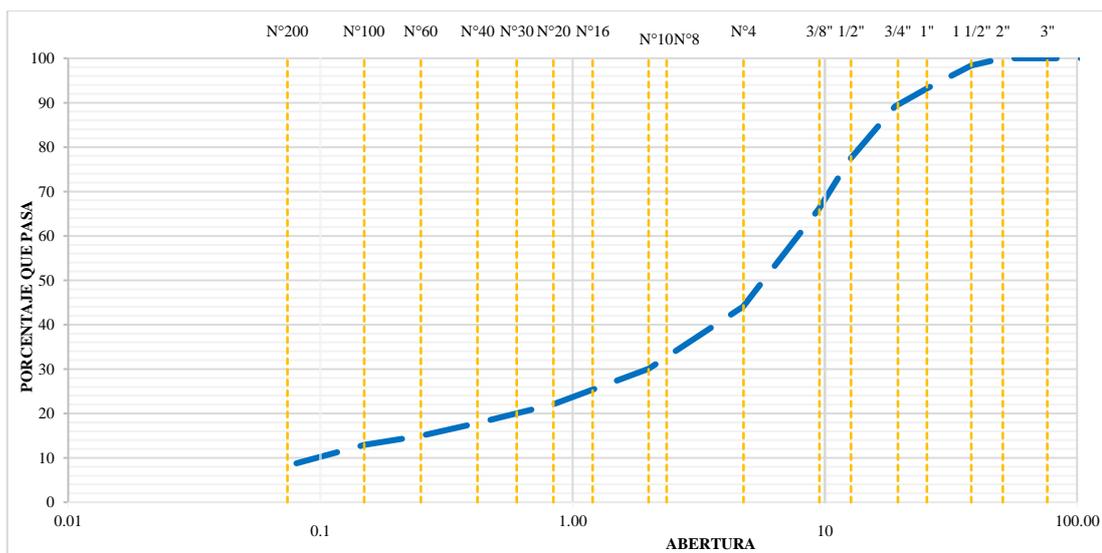


Figura 16. Curva granulométrica del suelo granular

Determinado el análisis granulométrico, se realiza la humedad natural donde se encuentra en cantera el material como se observa en la tabla 12.

Tabla 12. Control de humedad del suelo granular

N.º	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1	N.º tara	N.º	7	10	8	
2	Peso material húmedo + tara	(gr)	5073.1	5425.4	5420.0	
3	Peso material seco + tara	(gr)	4908.2	5237.9	5234.3	
4	Peso de agua (2-3)	(gr)	164.9	187.5	185.7	
5	Peso de tara	(gr)	823.7	828.7	813.7	
9	Peso neto de material seco (3-5)	(gr)	4084.5	4409.2	4420.6	
7	Porcentaje de humedad (2-3/3-5)*100	(%)	4.0	4.3	4.2	4.16

Luego se procedió a realizar el ensayo de límites de consistencia, obteniendo que el material no presenta índice de plasticidad, procediendo después a realizar el análisis de gravedad específica de los agregados gruesos que presenta el suelo granular, para este proceso se tamizó por la malla 3/4" el material de cantera, el material retenido

se dejó en agua sumergida durante 24 horas para realizar el ensayo, los resultados se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Gravedad específica de suelo granular

N.º	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	Promedio
1	Peso mat. sat. sup. seca (en aire)	(gr)	6151.0	6884.0	6684.0	
2	Peso mat. sat. sup. seca (en agua)	(gr)	3325.0	3801.0	3667.0	
3	Vol. de masa + vol. de vacíos = 1 - 2	(gr)	2826.0	3083.0	3017.0	
4	Peso material seco en estufa (105 °C)	(gr)	6076.0	6827.0	6611.0	
5	Vol. de masa = 3 - (1 - 4)	(gr)	2751.0	3026.0	2944.0	
6	Pe bulk (base seca) = 4/3	(gr/cm ³)	2.150	2.214	2.191	2.185
7	Pe bulk (base saturada) = 1/3	(gr/cm ³)	2.177	2.233	2.215	2.208
8	Pe aparente (base seca) = 4/5	(gr/cm ³)	2.209	2.256	2.246	2.237
9	% de absorción = ((1 - 4)/4 * 100)	%	1.234	0.835	1.104	1.06

Teniendo en cuenta los ensayos anteriores se procede a realizar ensayo de proctor modificado, obteniendo una densidad obtenida de 2.031 gr/cm³ a una humedad de 6.29 % como se observa en la tabla 14.

Tabla 14. Ensayo de gravedad específica del suelo granular

1.- Datos para ensayo						
Método de compactación: "C"	Número de golpes:	56	Número de capas:	3	Mold e N.º	1
2.- Densidad húmeda						
N.º	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	M-4
1	Peso suelo húmedo + molde	(gr)	11,150	11,292	11,322	11,310
2	Peso del molde	(gr)	6,113	6,113	6,113	6,113
3	Volumen del molde	(cm ³)	2,125	2,125	2,125	2,125
4	Peso suelo húmedo (1) - (2)	(gr)	5,037	5,179	5,209	5,197
5	Densidad suelo húmedo (4)/(3)	(g/cm ³)	2.370	2.437	2.451	2.446
3.- Humedad						
N.º	Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3	M-4
6	Id. cápsula	N.º	2	4	1	1
7	Peso del suelo hum. + bandeja	(gr)	3,453.2	3,987.5	3,641.5	3,641.5
8	Peso del suelo seco + bandeja	(gr)	3,325.5	3,808.6	3,453.4	3,427.7
9	Peso del agua (7) - (8)	(gr)	127.7	178.9	188.1	213.8
10	Peso de la bandeja	(gr)	822.2	827.7	803.7	803.7
11	Peso del suelo seco (8) - (9)	(gr)	2503.3	2980.9	2649.7	2624.0
12	Contenido de humedad (9)*100/(11)	(%)	5.10	6.00	7.10	8.15

4.1.2. Diseño de suelo con cemento

Luego de caracterizar el suelo se procede a realizar el diseño del suelo estabilizado con cemento. En primera instancia se procedió a determinar el número de golpes óptimo para alcanzar la densidad óptima de 2.30 gr/cc determinada en el ensayo de proctor modificado. En la tabla 15 se observan las densidades obtenidas a diferentes números de golpes.

Tabla 15. Relación de densidad y humedad para el diseño de suelo estabilizado con cemento

N.º	Descripción		Und.	M-1	M-2	M-3	M-4
	Número de golpes por capa		Und.	25	35	45	55
1	Peso suelo húmedo + molde		(gr)	9,671	9,722	9,763	9,778
2	Peso del molde		(gr)	5,714	5,714	5,714	5,714
3	Volumen del molde		(cm ³)	1,647	1,647	1,647	1,647
4	Peso suelo húmedo	(1) - (2)	(gr)	3,957	4,008	4,049	4,064
5	Densidad suelo húmedo	(4)/(3)	(g/cm³)	2.403	2.434	2.458	2.468
Humedad							
N.º	Descripción		Und.	M-1	M-2	M-3	M-4
6	Id. bandeja		N.º	8	10	10	8
7	Peso del suelo hum. + bandeja		(gr)	3,278.2	3,609.2	3,514.1	3,190.4
8	Peso del suelo seco + bandeja		(gr)	3,120.2	3,434.1	3,339.5	3,039.0
9	Peso del agua	(7) - (8)	(gr)	158.0	175.1	174.6	151.4
10	Peso de la bandeja		(gr)	813.7	828.7	828.7	813.7
11	Peso del suelo seco	(8)-(9)	(gr)	2306.5	2605.4	2510.8	2225.3
12	Contenido de humedad	(9)*100/(11)	(%)	6.85	6.72	6.95	6.80
Densidad seca							
13	Densidad seca	(5)/(1+(12)/100)	(g/cm³)	2.249	2.280	2.299	2.310

Con las densidades obtenidas y distintos números de golpes de compactación se obtuvo la gráfica siguiente, deduciéndose de ella que a 46 golpes por capa se llega a la máxima densidad seca obtenida en el ensayo de Proctor modificado.

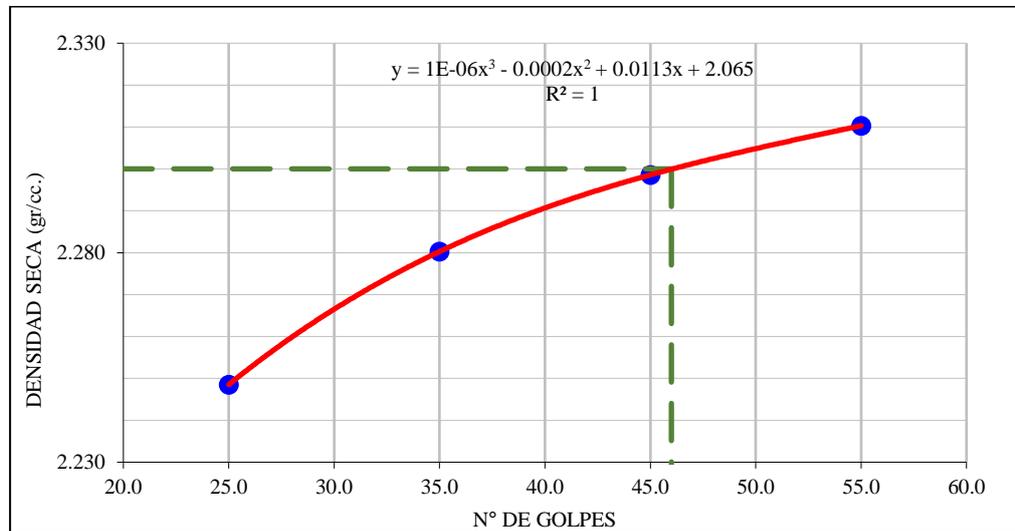


Figura 17. Gráfica de número de golpes vs. densidad seca obtenida

Teniendo en cuenta los números de golpes se realiza el moldeo de probetas de suelo con cemento, en la tabla 16 se observa la composición de la probeta a moldear y en la tabla 17 las cantidades de material para cada porcentaje de cemento añadido.

Tabla 16. Composición de la probeta en suelo estabilizado con cemento

Peso total de la mezcla		Suelo grueso		Peso hum.: 3074.5 (gr)		Suelo fino	Peso hum.: 2425.5 (gr)		Grava	56	(%)
5500 (gr)				Peso seco 3074.5 (gr)			Peso seco 2425.5 (gr)		Arena	44	(%)
CANTIDADES DE AGUA											
N.º	Porcentaje de cemento en peso	Peso del cemento	Peso del suelo seco		Agua	Humedad real de la arena	Humedad real de la grava	Aumentar o disminuir	Pérdida por evaporación	Agua por agregar	
			Grava	Arena							
6	%	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(gr)	(gr)
7	0.5	27.5	3075	2398	346.0	0.00	0.00	346.00	0.0	0.0	346.0
8	1.0	55.0	3075	2371	346.0	0.00	0.00	346.00	0.0	0.0	346.0
9	1.5	82.5	3075	2343	346.0	0.00	0.00	346.00	0.0	0.0	346.0
10	2.0	110.0	3075	2316	346.0	0.00	0.00	346.00	0.0	0.0	346.0
11	2.5	137.5	3075	2288	346.0	0.00	0.00	346.00	0.0	0.0	346.0
12	3.0	165.0	3075	2261	346.0	0.00	0.00	346.00	0.0	0.0	346.0
13	3.5	192.5	3075	2233	346.0	0.00	0.00	346.00	0.0	0.0	346.0
14	4.0	220.0	3075	2206	346.0	0.00	0.00	346.00	0.0	0.0	346.0

Tabla 17. Dosificación y control de probeta en suelo estabilizado con cemento

N.º	Moldeo de probeta	Porcentaje de cemento	Peso del molde + material húmedo	Peso del material húmedo	Determinación de porcentaje de humedad							Cuerpo de prueba	
					Bandeja	Peso de suelo húmedo. +Band.	Peso de suelo seco + Band.	Peso de la band.	Peso del agua	Suelo seco	Humedad	Densidad húmeda	Densidad seca
						(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)			
1	1.0	0.5	9746.0	4032.0	5.0	2191.0	2105.1	806.0	85.9	1299.1	6.61	2.447	2.295
2	2.0	0.5	9794.6	4038.6	5.0	2041.4	1962.0	806.0	79.4	1156.0	6.87	2.451	2.293
3	3.0	0.5	9832.0	3973.0	10.0	2021.3	1949.3	828.7	72.0	1120.6	6.43	2.411	2.265
4	4.0	1.0	9858.0	4022.0	7.0	2026.8	1951.1	823.7	75.7	1127.4	6.71	2.441	2.287
5	5.0	1.0	9816.0	4058.0	10.0	2020.5	1949.4	828.7	71.1	1120.7	6.34	2.462	2.315
6	6.0	1.0	9743.6	4040.6	9.0	2039.2	1963.2	812.1	76.0	1151.1	6.60	2.452	2.300
7	7.0	1.5	9785.0	4059.0	6.0	2176.5	2091.8	803.5	84.7	1288.3	6.57	2.463	2.311
8	8.0	1.5	9787.0	4050.0	5.0	2074.6	1995.8	806.0	78.8	1189.8	6.62	2.458	2.305
9	9.0	1.5	9753.6	4068.6	10.0	2080.7	2002.2	828.7	78.5	1173.5	6.69	2.469	2.314
10	10	2.0	9765.0	4024.0	9.0	2063.2	1987.3	812.1	75.9	1175.2	6.46	2.442	2.294
11	11.0	2.0	9803.8	4009.8	5.0	2014.5	1937.9	806.0	76.6	1131.9	6.76	2.433	2.279
12	12.0	2.0	9808.0	4011.0	11.0	2057.1	1980.1	798.0	77.0	1182.1	6.51	2.434	2.285
13	13.0	2.5	9750.0	4036.0	1.0	2011.3	1938.8	803.7	72.5	1135.1	6.39	2.449	2.302
14	14.0	2.5	9714.0	3958.0	11.0	2023.5	1950.8	798.0	72.7	1152.8	6.31	2.402	2.259
15	15.0	2.5	9775.0	3916.0	5.0	2099.1	2019.6	806	79.5	1213.6	6.55	2.376	2.230
13	16.0	3.0	9838.0	4002.0	11.0	2083.1	2003.5	798.0	79.6	1205.5	6.60	2.428	2.278
14	17.0	3.0	9796.2	4038.2	3.0	2076.1	1996.9	827.2	79.2	1169.7	6.77	2.450	2.295
15	18.0	3.0	9721.8	4018.8	7.0	2086.4	2010.5	823.7	75.9	1186.8	6.40	2.439	2.292
13	19.0	3.5	9706.0	3980.0	11.0	2046.2	1970.2	798	76.0	1172.2	6.48	2.415	2.268
14	20.0	3.5	9753.0	4016.0	5.0	2055.5	1979.2	806.0	76.3	1173.2	6.50	2.437	2.288
15	21.0	3.5	9744.0	4059.0	3.0	2048.8	1974.4	827.2	74.4	1147.2	6.49	2.463	2.313
13	22.0	4.0	9790.0	4049.0	2.0	2022.6	1950.3	822.2	72.3	1128.1	6.41	2.457	2.309
14	23.0	4.0	9760.0	3966.0	3.0	2084.9	2006.3	827.2	78.6	1179.1	6.67	2.407	2.256
15	24.0	4.0	9808.5	4011.5	7.0	2058.0	1978.8	823.7	79.2	1155.1	6.86	2.434	2.278

Elaboradas las probetas de suelo con cemento se procedió a realizar la rotura, estas fueron curadas por 7 días, así como se observa en las tablas 18 y 19.

Tabla 18. Rotura de probetas de suelo estabilizado con cemento de 0.5 % a 2.0 % de cemento añadido

Cuerpo de probeta N.º	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Porcentaje de cemento en peso	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0
Fecha de moldeo	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8
Fecha de rotura	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Carga (kg)	650	640	630	870	950	880	1120	1150	1080	2300	2220	2180
Área (cm²)	80.9	81.6	81.9	80.1	78.5	81.7	81.7	80.1	80.1	81.7	80.1	81.7
Resistencia (kg/cm²)	8.03	7.85	7.69	10.86	12.10	10.77	13.71	14.35	13.48	28.15	27.71	26.68
Resistencia promedio (kg/cm²)		7.86			11.24			13.85			27.51	

Tabla 19. Rotura de probetas de suelo estabilizado con cemento de 2.5 % a 4.0 % de cemento añadido

Cuerpo de probeta N.º	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Porcentaje de cemento en peso	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5	4.0	4.0	4.0
Fecha de moldeo	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8	5/8
Fecha de rotura	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8	12/8
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Carga (kg)	4010	4100	4250	4580	4620	4740	5000	4950	4800	6520	6890	6780
Área (cm ²)	81.7	80.1	81.7	82.0	81.7	81.9	81.9	80.9	82.0	81.7	81.9	81.7
Resistencia (kg/cm ²)	49.07	51.17	52.01	55.83	56.54	57.89	61.07	61.18	58.51	79.79	84.15	82.97
Resistencia Promedio (kg/cm ²)		50.75			56.75			60.25			82.31	

Con las resistencias obtenidas se realiza la gráfica para poder determinar la dosificación de cemento como se observa en la figura.

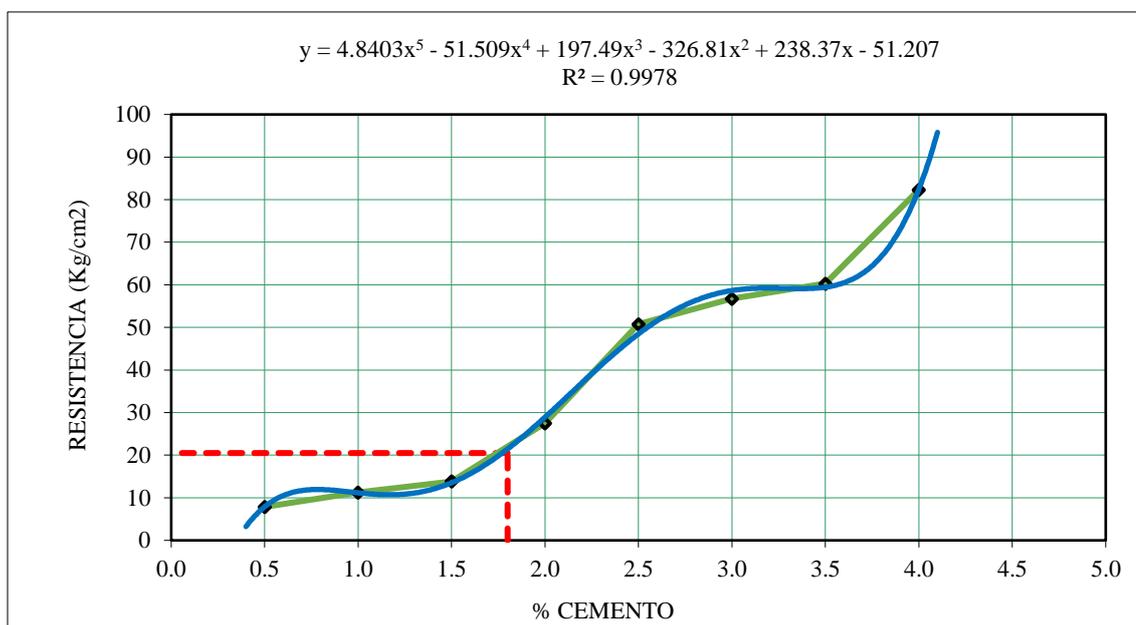


Figura 18. Gráfica de resistencia vs. cemento añadido en el suelo

Teniendo en cuenta la gráfica anterior se realiza el análisis de porcentaje óptimo de cemento en el suelo como se observa en la tabla 20.

Tabla 20. Análisis de diseño de óptimo de cemento en el suelo

	% de Cemento Andino Portland Tipo I	1.8
	Margen de seguridad 0.5 %	
Para una resistencia de:		
18.355 kg/cm² a los 7 días	% de cemento adoptado	1.8
	% de pérdida de cemento proyectado según ensayo	0.5
	% de cemento a usar según diseño	2.3

4.2. Ensayos de evaluación de la interfaz

Para poder evaluar la eficacia de la adherencia entre la base estabilizada y el micropavimento, lograda con la aplicación de asfaltos diluidos que hacen la función de capa de liga, se prepararon 90 briquetas de 4 pulgadas de diámetro. 18 briquetas para ensayo de resistencia de corte para 6 dosificaciones y 3 briquetas por dosificación. 18 briquetas para ensayo de Lottman o resistencia a la tracción indirecta para 6 dosificaciones y 3 broquetas por dosificación y, finalmente, 54 briquetas para el ensayo de resistencia a la erosión. Según se indica en la tabla adjunta.

Tabla 21. Relación de briquetas para ensayos de evaluación de la interfaz

Muestra	Espesor de la base	Espesor del TSM	Dosificación (l/m ²)	Dimensión del molde	Número de muestras		
					Corte	Lottman	Erosión
M 01 -15	5.00	1.88	0.20	Φ 4 in	3.000	3.000	9.000
M 16-30	5.00	1.88	0.50	Φ 4 in	3.000	3.000	9.000
M 31 -45	5.00	1.88	1.00	Φ 4 in	3.000	3.000	9.000
M 46 -60	5.00	1.88	1.50	Φ 4 in	3.000	3.000	9.000
M 61 -75	5.00	1.88	2.00	Φ 4 in	3.000	3.000	9.000
M 76 - 90	5.00	1.88	2.50	Φ 4 in	3.000	3.000	9.000



Figura 19. Vista de la briketa elaborada de base estabilizada con cemento y micropavimentos

4.3. Ensayo de resistencia al corte en la interfaz ligada

Este ensayo es el ensayo principal para determinar la resistencia al corte en la interfaz ligada, se elaboraron 18 muestras.

Se trabajaron dosificaciones de la interfaz de 0.20 l/m², 0.50 l/m², 1.00 l/m², 1.50 l/m², 2.00 l/m², y 2.50 l/m². Estas dosificaciones se encuentran dentro de la recomendación mostrada en el manual de especificaciones técnicas de la construcción de carreteras, correspondiente al capítulo de riego de liga.



Figura 20. Ensayo de resistencia al corte en la interfaz ligada

En ensayo es muy similar al ensayo de corte realizado en suelos, en este caso, en un plano se encuentra la base estabilizada con cemento (suelo cemento) y en el otro plano el micropavimento, el molde de corte apoya uno de los planos en un apoyo fijo y el otro en un apoyo móvil conectado a la prensa de compresión de Marshall, al accionar la prensa se aplica un esfuerzo de corte que es lecturado en el dial digital. Se ha sometido a todas las muestras al mismo procedimiento, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 22. Resultados de ensayo de resistencia al corte

Muestra	Numero	Dosificación (l/m ²)	Resistencia al corte (kg)	RC 250	MC-30	Emulsión asfáltica CSS lh
M-01	1	0.20	Corte	93.45	75	47.2
M-02	2	0.20	Corte	103.15	79.7	54.9
M-03	3	0.20	Corte	89.55	69.4	41.4
M-04	1	0.50	Corte	151.72	124.3	56.1
M-05	2	0.50	Corte	160.42	133.6	59.9
M-06	3	0.50	Corte	147.22	118.1	52
M-07	1	1.00	Corte	84.56	117.1	68.43
M-08	2	1.00	Corte	91.16	125.7	77.23
M-09	3	1.00	Corte	80.76	111.5	66.03
M-10	1	1.50	Corte	71.34	80.4	64.1
M-11	2	1.50	Corte	80.44	86.7	72.4
M-12	3	1.50	Corte	67.04	77	57.8
M-13	1	2.00	Corte	72.89	78.3	42.1
M-14	2	2.00	Corte	76.49	87.9	47.7
M-15	3	2.00	Corte	66.49	72	38.2
M-16	1	2.50	Corte	67.22	75.4	45.4
M-17	2	2.50	Corte	75.62	79.1	59.2
M-18	3	2.50	Corte	63.72	70.5	36.8

Como se puede ver en la tabla de resultados del ensayo de resistencia al corte, para el caso del riego de liga realizado con el asfalto recortado RC 250, se obtuvo una resistencia mínima de 63.72 kg y una máxima de 160.42 kg, obtenidas a dosificaciones de 2.50 l/m² y 0.50 l/m² respectivamente, en el caso del asfalto recortado MC 30, se obtuvo una resistencia mínima de 69.40 kg y una máxima de 133.60 kg, obtenidas a dosificaciones de 0.20 l/m² y 0.50 l/m² respectivamente, en el caso de la emulsión asfáltica CSS 1h, se obtuvo una resistencia mínima de 36.80 kg y una máxima de 77.23 kg, obtenidas a dosificaciones de 2.50 l/m² y 1.00 l/m², respectivamente.

En el análisis de cada una de las gráficas se puede ver, que a dosificaciones bajas entre 0.20 l/m², se obtienen resistencias al corte bajas, que, entre las dosificaciones de 0.50 l/m² a 1.00 l/m² se obtienen resistencias más altas. A partir de 1 l/m² hacia arriba las resistencias al corte disminuyen. Esta tendencia se puede ver en los gráficos adjuntos para resistencia al corte elaborados para el RC250, MC30 y emulsión asfáltica tipo CSS 1h, que se muestran a continuación.

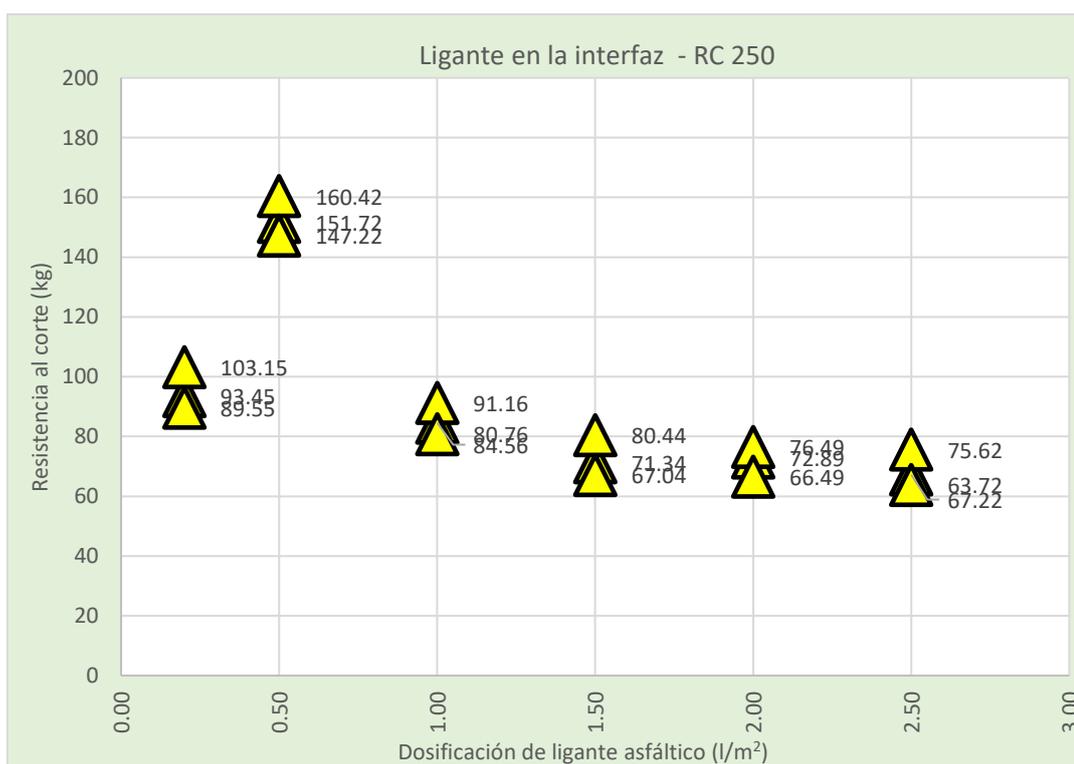


Figura 21. Resultados de corte en la interfaz con ligante RC 250

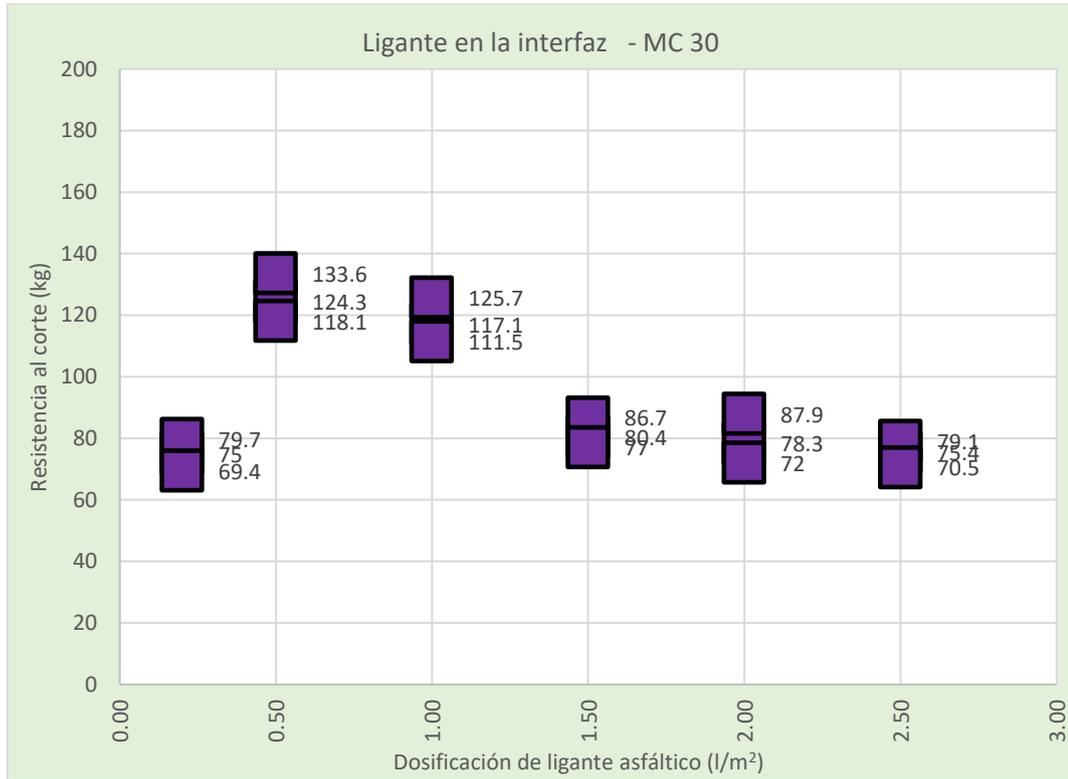


Figura 22. Resultados de corte en la interfaz con ligante MC30

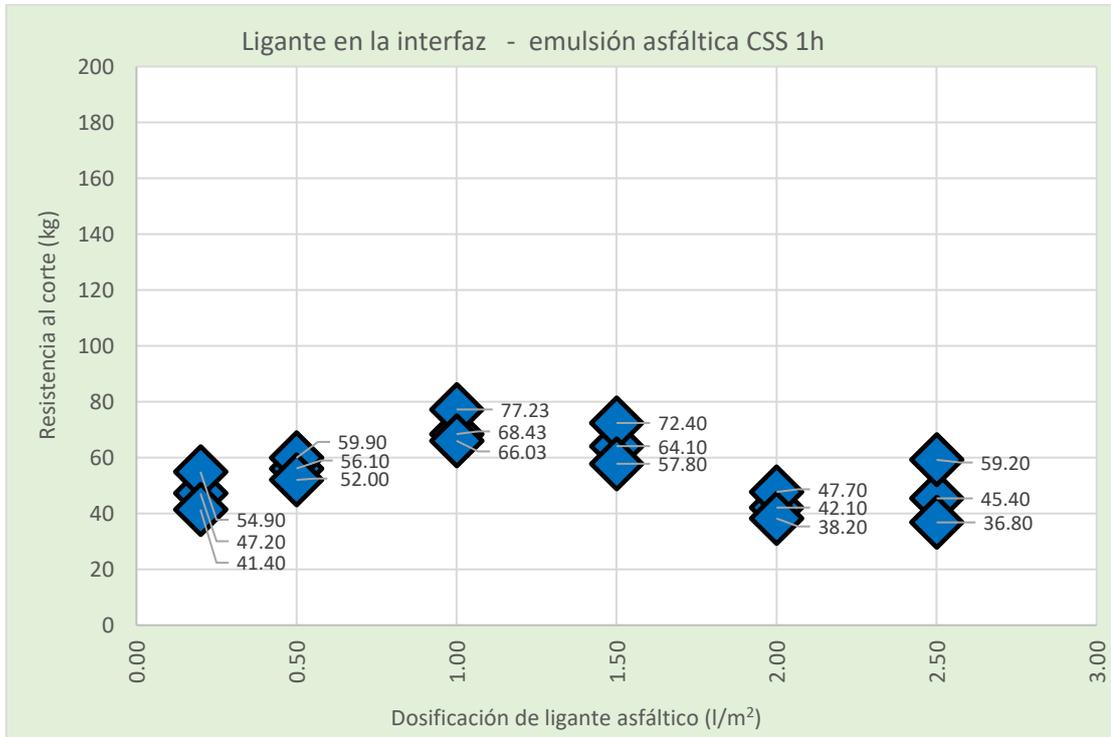


Figura 23. Gráfico de resultados de corte en la interfaz con ligante emulsión asfáltica CSS-1H

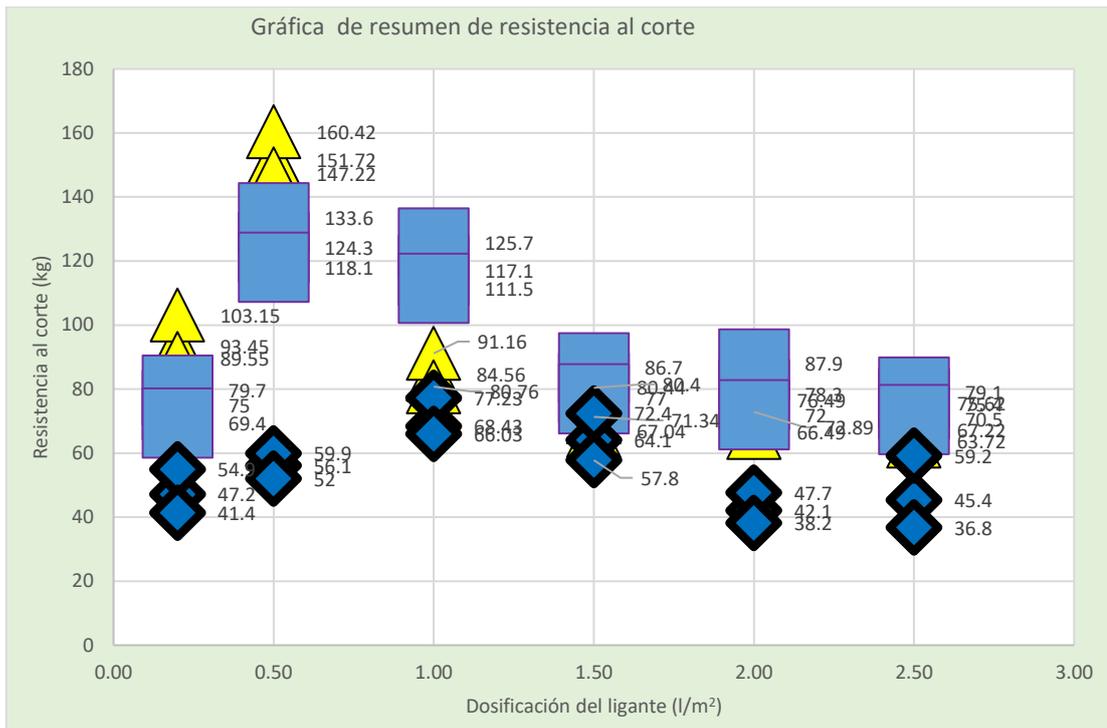


Figura 24. Gráfico de resumen de resultados de corte en la interfaz con ligante varios

Respecto a este ensayo se ha podido notar que el riego de liga más eficiente es la proporcionada por el asfalto recortado RC250, que da valores de resistencia al corte de hasta 160.42 kg a una dosificación de 0.50 l/m². Seguido del asfalto recortado MC30 donde se obtuvo una resistencia máxima de 133.60 kg también a una dosificación de 0.50 l/m². El riego de liga más débil corresponde a la proporcionada por la emulsión asfáltica CSS 1h, donde se obtuvo una máxima de 77.23 kg a una dosificación de 1.00 l/m². En tal sentido la investigación evidencia que no necesariamente se puede obtener mayor resistencia a la corte en la interfaz administrando más asfalto, dado que, según los resultados, aun con dosificaciones menores se puede obtener mejores resultados.

4.4. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta de Lottman

Este ensayo también puede medir de forma indirecta la resistencia al corte en la interfaz ligada, se elaboraron 18 muestras donde se trabajaron dosificaciones de la interfaz de 0.20 l/m², 0.50 l/m², 1.00 l/m², 1.50 l/m², 2.00 l/m², y 2.50 l/m². Con idénticas condiciones que el ensayo de resistencia al corte. Las dosificaciones utilizadas se encuentran dentro de la recomendación mostrada en el manual de especificaciones técnicas de la construcción de carreteras, correspondiente al capítulo de riego de liga. A diferencia del primer ensayo que también participan tanto la base estabilizada y el micropavimento, pero en menor magnitud.



Figura 25. Ensayo de tracción indirecta de Lottman

Para este ensayo se obtuvo valores de resistencia más elevados, ya que en este caso además de la interfaz, también aportan a la resistencia la base estabilizada y el micropavimento. Como se puede ver en la tabla de resultados del ensayo de tracción indirecta de Lottman, para el caso del riego de liga realizado con el asfalto recortado RC 250, se obtuvo una resistencia mínima de 228.55 kg y una máxima de 309.28 kg, obtenidas a dosificaciones de 2.50 l/m² y 1.00 l/m², respectivamente, en el caso del asfalto recortado MC 30, se obtuvo una resistencia mínima de 177.50 kg y una máxima de 265.75 kg, obtenidas a dosificaciones de 2.50 l/m² y 0.20 l/m² respectivamente, en el caso de la emulsión asfáltica CSS 1h, se obtuvo una resistencia mínima de 84.30 kg y una máxima de 140.60 kg, obtenidas a dosificaciones de 2.50 l/m² y 0.50 l/m² respectivamente.



Figura 26. Briqueta ensayada sometida a tracción indirecta

Tabla 23. Resultados de ensayo de resistencia a la tracción indirecta de Lottman

Muestra	Número	Dosificación (l/m ²)	Resistencia al corte (kg)	RC 250	MC- 30	Emulsión asfáltica CSS 1h
M-01	1	0.20	Corte	240.8	208.5	129.6
M-02	2	0.20	Corte	249.4	215.2	137.2
M-03	3	0.20	Corte	239.7	206.1	122.2
M-04	1	0.50	Corte	290.5	262.45	134.2
M-05	2	0.50	Corte	299.7	265.75	140.6
M-06	3	0.50	Corte	288.6	255.25	131.5
M-07	1	1.00	Corte	304.78	240.12	131.23
M-08	2	1.00	Corte	309.28	244.72	136.43
M-09	3	1.00	Corte	304.58	231.22	124.03
M-10	1	1.50	Corte	272.56	213.56	114.5
M-11	2	1.50	Corte	277.96	222.96	119
M-12	3	1.50	Corte	271.86	209.16	107.8
M-13	1	2.00	Corte	264.32	205.4	104.2
M-14	2	2.00	Corte	273.22	210.5	107.3
M-15	3	2.00	Corte	257.92	200	99.9
M-16	1	2.50	Corte	234.45	180.6	88.5
M-17	2	2.50	Corte	237.65	188.4	95.4
M-18	3	2.50	Corte	228.55	177.5	84.3

Similar al ensayo de resistencia al corte, en el análisis de cada una de las gráficas se puede ver, que a dosificaciones bajas de entre 0.20 l/m², se obtienen resistencias a la tracción indirecta bajas, que entre las dosificaciones de 0.50 l/m² a 1.00 l/m² se obtienen resistencias

más altas. A partir de 1.50 l/m² hacia arriba las resistencias a la tracción indirecta disminuyen. Esta tendencia se puede ver en los gráficos adjuntos para resistencia al corte elaborados para el RC250, MC30 y emulsión asfáltica tipo CSS 1h, que se muestran a continuación.

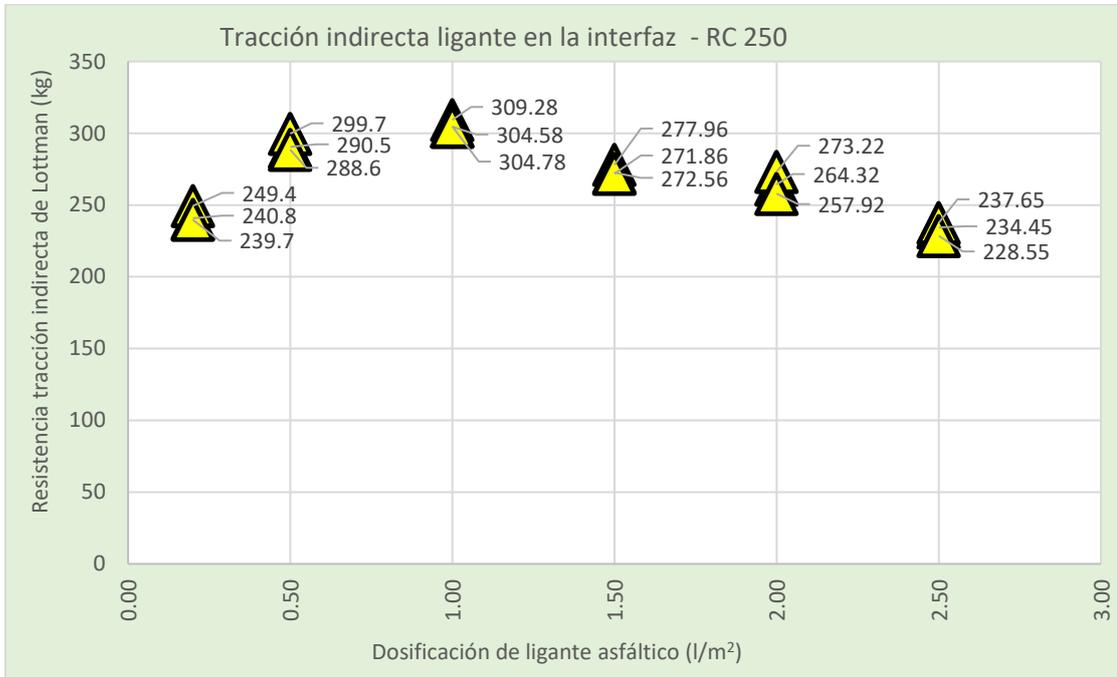


Figura 27. Resistencia a la tracción indirecta para muestras elaboradas con interfaz de RC250

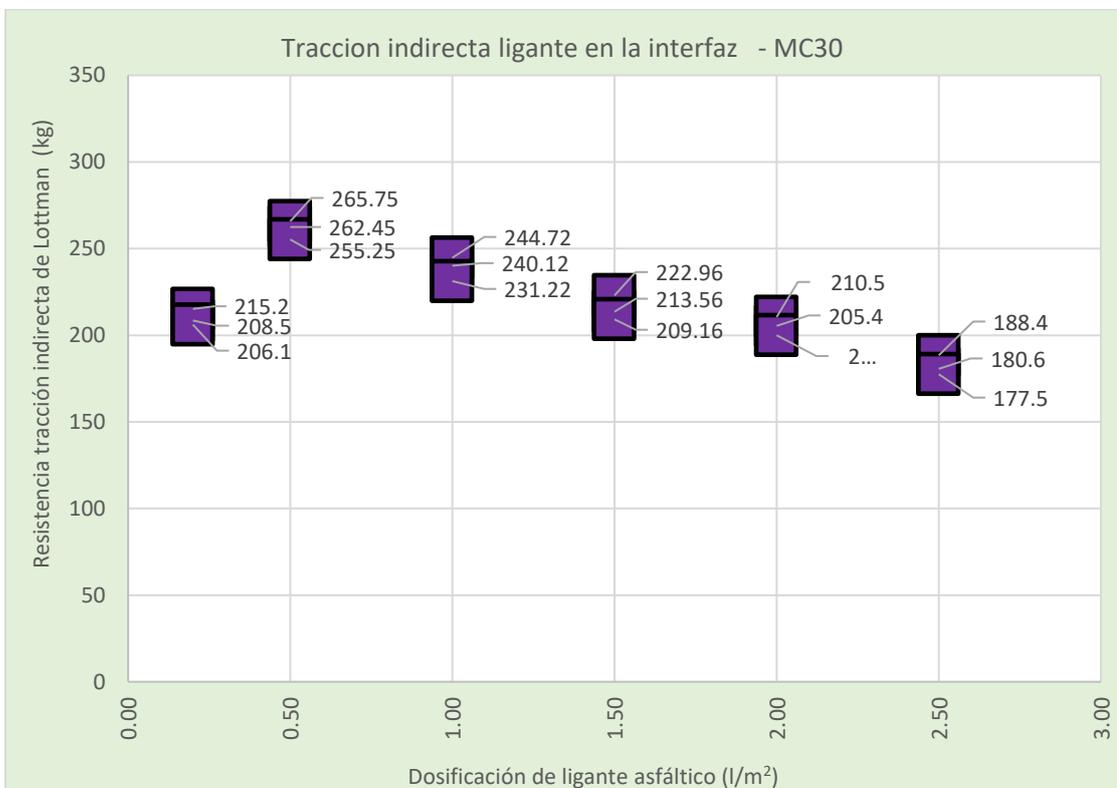


Figura 28. Resistencia a la tracción indirecta para muestras elaboradas con interfaz de MC30

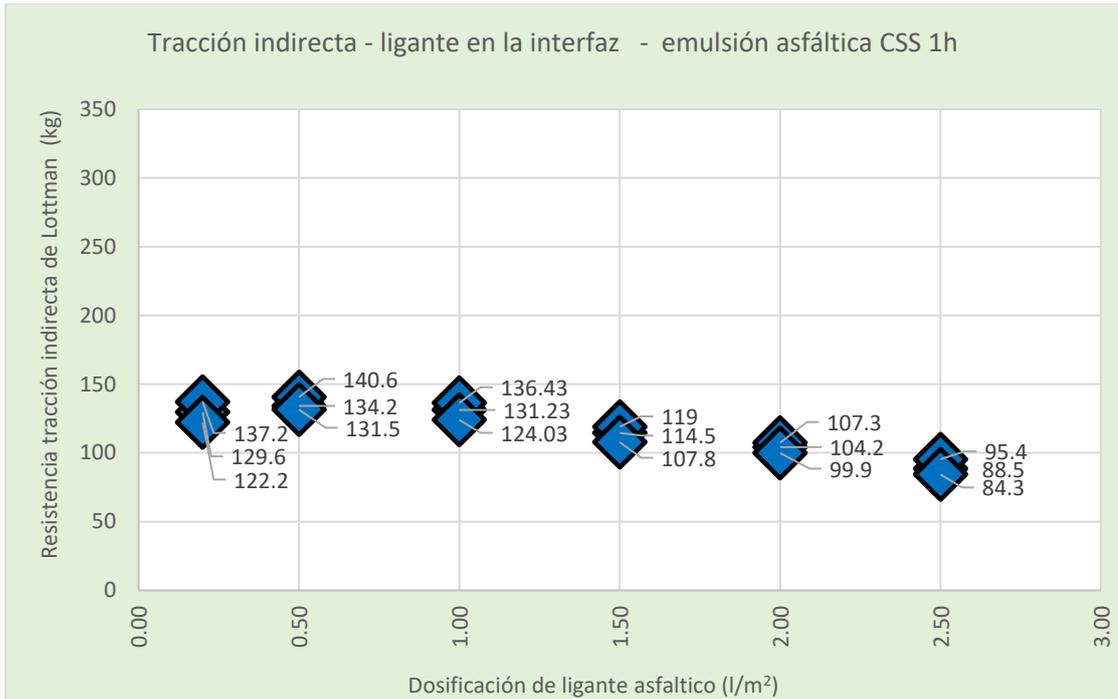


Figura 29. Resistencia a la tracción indirecta para muestras elaboradas con interfaz de emulsión CSS 1h

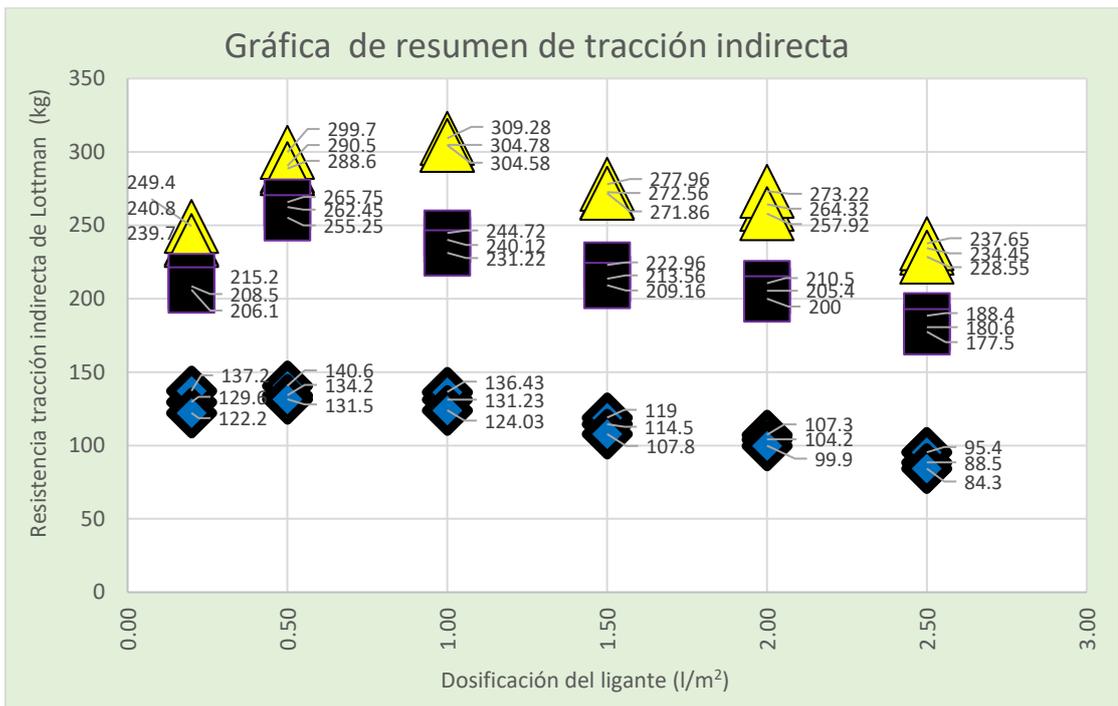


Figura 30. Resumen de la resistencia a la tracción indirecta para muestras elaboradas con interfaz de RC 250, MS 30 y emulsión CSS 1h

Respecto al segundo ensayo se ha podido notar que el riego de liga más eficiente es la proporcionada por el asfalto recortado RC250, que da valores de resistencia al corte de hasta 309.28 kg a una dosificación de 1.00 l/m². Seguido del asfalto recortado MC30 donde se obtuvo una resistencia máxima de 265.75 kg también a una dosificación de 0.50 l/m². El riego de liga más débil corresponde a la proporcionada por la emulsión asfáltica CSS 1h, donde se obtuvo

una máxima de 140.00 kg a una dosificación de 0.50 l/m². En tal sentido, la investigación evidencia que también en este caso no necesariamente se puede obtener mayor resistencia a la corte en la interfaz, administrando más asfalto, dado que según las derivaciones aun con dosificaciones menores se pueden obtener mejores resultados.

4.5. Ensayo de resistencia a la erosión

El ensayo de erosión acelerada, inicialmente no se diseñó para asfalto, sin embargo, es usado en muchas investigaciones para poder evaluar de manera empírica a la adherencia agregando asfalto, ya que, por su naturaleza, tienen componentes que asemejan el efecto del tráfico y la lluvia en forma simultánea, en este caso se usó como un ensayo referencial.



Figura 31. Briqueta sometida al ensayo de erosión acelerada

Este ensayo consistió en someter a la muestra a un chorro constante por un intervalo de tiempo de 15 min por muestra y medir la pérdida de peso, este ensayo referencial sirvió para medir de manera indirecta el nivel de protección brindado por cada tipo de ligante ensayado. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 24. Resultados de ensayo de erosión con riego de liga de RC250

Muestra	Espesor de la base	Espesor del TSM	Dosificación	Dimensión del molde	W base (gr)	W base + W micro (seco sin erosión) (gr)	W micropav.	W base + W TSM (seco con erosión) (gr)	Pérdida de peso (%)	Profundidad máxima de erosión (mm)
M 01	5.00	1.88	0.20	Φ 4 in	1194	1550	355	1178.984	23.92	2.76
M 02	5.00	1.88	0.20	Φ 4 in	1192	1547	355	1181.589	23.63	2.65
M 03	5.00	1.88	0.20	Φ 4 in	1199	1555	356	1187.675	23.63	2.51
M 04	5.00	1.88	0.50	Φ 4 in	1190	1545	355	1173.194	24.06	2.44
M 05	5.00	1.88	0.50	Φ 4 in	1190	1546	355	1181.503	23.55	2.49
M 06	5.00	1.88	0.50	Φ 4 in	1201	1556	355	1186.971	23.71	2.76
M 07	5.00	1.88	1.00	Φ 4 in	1191	1546	356	1174.392	24.05	2.53
M 08	5.00	1.88	1.00	Φ 4 in	1192	1548	356	1174.198	24.13	2.72
M 09	5.00	1.88	1.00	Φ 4 in	1192	1547	355	1181.998	23.59	2.44
M 10	5.00	1.88	1.50	Φ 4 in	1191	1547	356	1182.292	23.55	2.51
M 11	5.00	1.88	1.50	Φ 4 in	1197	1552	355	1182.183	23.82	2.63
M 12	5.00	1.88	1.50	Φ 4 in	1190	1546	356	1173.394	24.08	2.72
M 13	5.00	1.88	2.00	Φ 4 in	1203	1558	356	1188.268	23.75	2.63
M 14	5.00	1.88	2.00	Φ 4 in	1191	1546	356	1172.101	24.20	2.65
M 15	5.00	1.88	2.00	Φ 4 in	1192	1547	355	1176.290	23.96	2.46
M 16	5.00	1.88	2.50	Φ 4 in	1190	1545	355	1178.294	23.72	2.61
M 17	5.00	1.88	2.50	Φ 4 in	1199	1554	355	1186.977	23.61	2.41
M 18	5.00	1.88	2.50	Φ 4 in	1194	1549	355	1176.391	24.07	2.74

Para el caso de las muestras con liga de asfalto recortado RC250 se pudo obtener valores de pérdida de masa promedio de 23.84 %, valores mínimos de alrededor de 23.55 % y máximos de 24.20 % con una desviación estándar 0.22 %. Como se puede ver, la pérdida es casi constante viendo que la variación de la dosificación casi no tiene influencia en el nivel de protección.

Respecto a la profundidad máxima de erosión, casi en todos los casos, el chorro logró rebasar la capa de micropavimentos, pasar la interfaz de liga y detenerse en la base estabilizada con cemento, las profundidades registradas son mínimo de 2.41 cm, máximo de 2.76 cm, promedio 2.59 cm con una desviación estándar 0.12 cm. ya en el ensayo se pudo observar que el micropavimento se pierde rápidamente y cuando llega a la interfaz de liga demora 3 min en sobrepasar, denotando cierta protección de la liga.

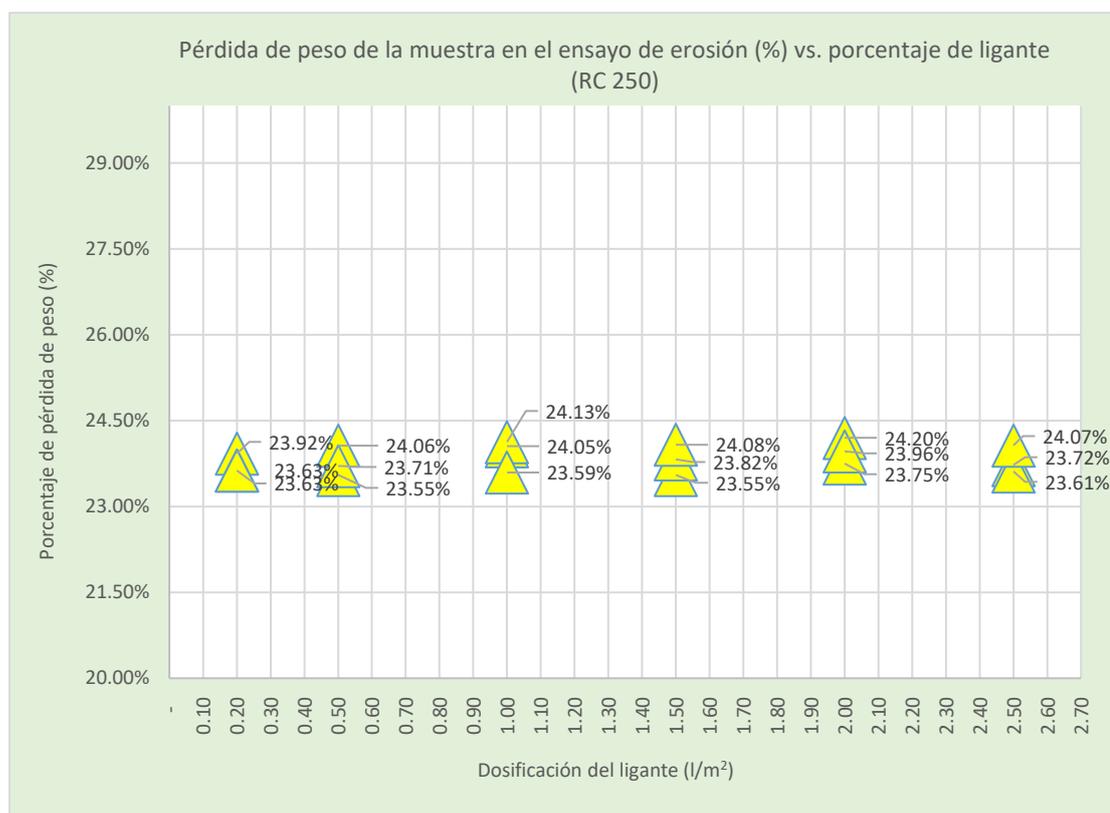


Figura 32. Pérdida de peso de la briqueta por erosión acelerada de chorro para muestras con liga de RC 250

Para el caso de las muestras con liga de asfalto recortado MC30 se pudo obtener valores de pérdida de masa promedio de 24.09 %, valores mínimos de alrededor de 23.64 % y máximos de 24.09 % con una desviación estándar 0.28 %. Como se puede ver, la pérdida es casi constante viendo que la variación de la dosificación casi no tiene influencia en el nivel de protección, al igual que el RC250.

Respecto a la profundidad máxima de erosión, casi en todos los casos, el chorro logró rebasar la capa de micropavimentos, pasar la interfaz de liga y detenerse en la base estabilizada con cemento, las profundidades registradas son mínimo de 2.41 cm, máximo de 2.78 cm, promedio 2.60 cm con una desviación estándar 0.12 cm. ya en el ensayo se pudo observar que el micropavimento se pierde rápidamente y cuando llega a la interfaz de liga demora un 2.5 min en sobrepasar, denotando cierta protección de la liga.

Tabla 25. Resultados de ensayo de erosión con riesgo de liga de MC30

Muestra	Espesor de la base	Espesor del TSM	Dosificación	Dimensión del molde	W base (gr)	W base + W micro (seco sin erosión) (gr)	W micropav.	W base + W TSM (seco con erosión) (gr)	Pérdida de peso (%)	Profundidad máxima de erosión (mm)
M 01	5.00	1.88	0.20	Φ 4 in	1194	1550	355	1179.790	23.87	2.78
M 02	5.00	1.88	0.20	Φ 4 in	1194	1549	355	1176.292	24.07	2.69
M 03	5.00	1.88	0.20	Φ 4 in	1196	1552	356	1182.186	23.81	2.46
M 04	5.00	1.88	0.50	Φ 4 in	1193	1548	355	1169.394	24.47	2.62
M 05	5.00	1.88	0.50	Φ 4 in	1193	1548	355	1169.195	24.46	2.56
M 06	5.00	1.88	0.50	Φ 4 in	1204	1560	355	1189.064	23.76	2.77
M 07	5.00	1.88	1.00	Φ 4 in	1194	1550	356	1173.491	24.27	2.65
M 08	5.00	1.88	1.00	Φ 4 in	1191	1546	355	1169.101	24.37	2.41
M 09	5.00	1.88	1.00	Φ 4 in	1194	1550	355	1181.785	23.74	2.52
M 10	5.00	1.88	1.50	Φ 4 in	1192	1547	356	1169.098	24.45	2.69
M 11	5.00	1.88	1.50	Φ 4 in	1197	1552	356	1176.183	24.23	2.62
M 12	5.00	1.88	1.50	Φ 4 in	1192	1548	356	1178.589	23.84	2.72
M 13	5.00	1.88	2.00	Φ 4 in	1201	1556	355	1188.471	23.64	2.44
M 14	5.00	1.88	2.00	Φ 4 in	1190	1546	356	1175.603	23.95	2.69
M 15	5.00	1.88	2.00	Φ 4 in	1192	1547	356	1175.998	23.99	2.68
M 16	5.00	1.88	2.50	Φ 4 in	1192	1548	356	1169.896	24.44	2.56
M 17	5.00	1.88	2.50	Φ 4 in	1199	1554	355	1179.977	24.07	2.56
M 18	5.00	1.88	2.50	Φ 4 in	1194	1549	355	1175.491	24.13	2.42

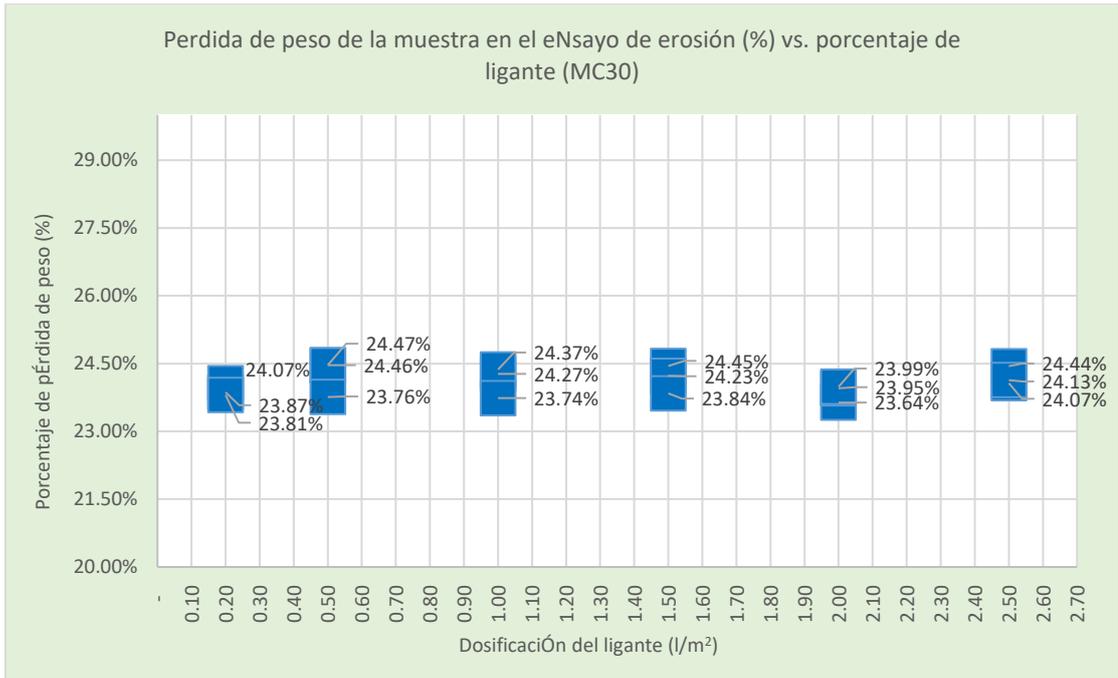


Figura 33. Pérdida de peso de la briqueta por erosión acelerada de chorro para muestras con liga de MC30

Para el caso de las muestras con liga de emulsión asfáltica CSS 1h se pudo obtener valores de pérdida de masa promedio de 27.78 %, valores mínimos de alrededor de 27.21 % y máximos de 28.38 % con una desviación estándar 0.37 %. Como se puede ver, la pérdida es casi constante y la variación de la dosificación no tiene influencia significativa en el nivel de protección, tan igual como la liga con el RC250 y MC30.

Respecto a la profundidad máxima de erosión, en la mayoría de los casos, el chorro logró rebasar la capa de micropavimentos, pasar la interfaz de liga y detenerse en la base estabilizada con cemento, las profundidades registradas son mínimo de 2.66 cm, máximo de 2.79 cm, promedio 2.47 cm con una desviación estándar 0.10 cm. En el ensayo se pudo observar que el micropavimento se pierde rápidamente y cuando llega a la interfaz de liga demora 1.0 min en sobrepasar, denotando cierta protección de la liga. En este caso, se pudo ver que la liga de emulsión asfáltica ofrece mucho menos protección que el RC250 y MC30 debido, tal vez, a que las emulsiones son débiles en la presencia de agua.

Tabla 26. Resultados de ensayo de erosión con riesgo de liga de emulsión asfáltica CSS 1h

Muestra	Espesor de la base	Espesor del TSM	Dosificación	Dimensión del molde	W base (gr)	W base + W micro (seco sin erosión) (gr)	W micropav.	W base + W TSM (seco con erosión) (gr)	Pérdida de peso (%)	Profundidad máxima de erosión (mm)
M 01	5.00	1.88	0.20	Φ 4 in	1194	1550	356	1118.790	27.82	2.71
M 02	5.00	1.88	0.20	Φ 4 in	1193	1548	355	1124.487	27.36	2.54
M 03	5.00	1.88	0.20	Φ 4 in	1199	1554	355	1120.775	27.90	2.69
M 04	5.00	1.88	0.50	Φ 4 in	1189	1545	355	1108.094	28.26	2.52
M 05	5.00	1.88	0.50	Φ 4 in	1193	1548	355	1114.687	28.01	2.47
M 06	5.00	1.88	0.50	Φ 4 in	1205	1560	355	1125.364	27.86	2.72
M 07	5.00	1.88	1.00	Φ 4 in	1191	1546	355	1125.500	27.21	2.75
M 08	5.00	1.88	1.00	Φ 4 in	1193	1548	356	1111.188	28.23	2.78
M 09	5.00	1.88	1.00	Φ 4 in	1193	1549	356	1117.295	27.85	2.76
M 10	5.00	1.88	1.50	Φ 4 in	1192	1548	355	1125.896	27.25	2.68
M 11	5.00	1.88	1.50	Φ 4 in	1198	1553	356	1128.080	27.38	2.72
M 12	5.00	1.88	1.50	Φ 4 in	1189	1545	356	1107.094	28.35	2.51
M 13	5.00	1.88	2.00	Φ 4 in	1201	1556	356	1128.172	27.50	2.54
M 14	5.00	1.88	2.00	Φ 4 in	1192	1548	356	1108.597	28.38	2.71
M 15	5.00	1.88	2.00	Φ 4 in	1193	1549	356	1121.195	27.60	2.72
M 16	5.00	1.88	2.50	Φ 4 in	1191	1546	356	1120.001	27.56	2.67
M 17	5.00	1.88	2.50	Φ 4 in	1203	1558	356	1123.467	27.91	2.66
M 18	5.00	1.88	2.50	Φ 4 in	1194	1549	355	1122.491	27.55	2.79

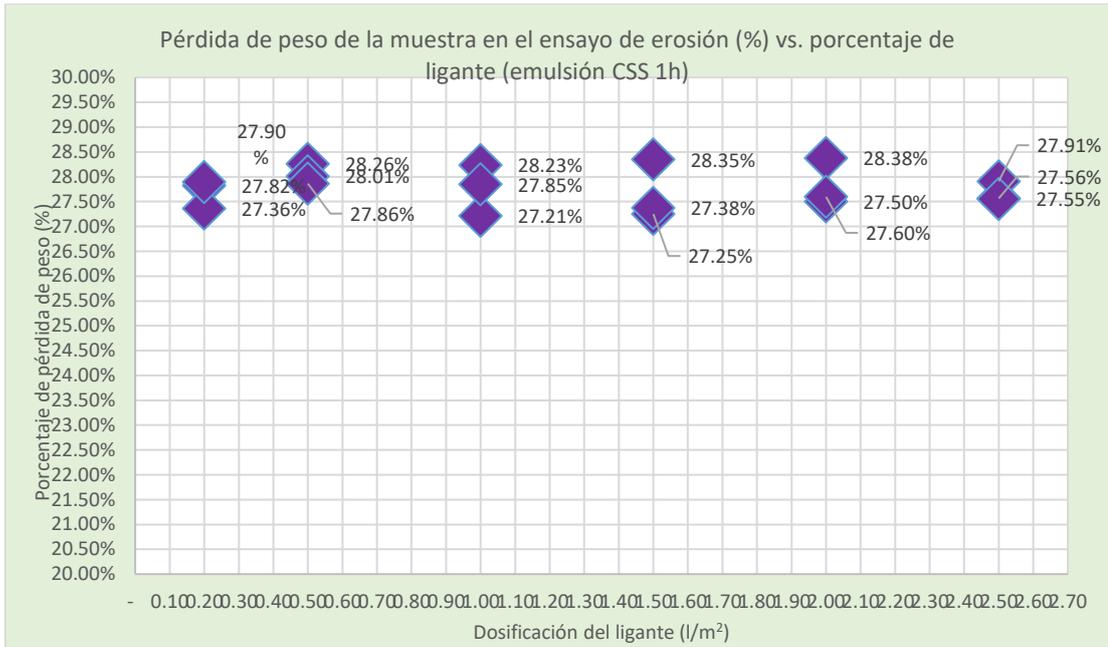


Figura 34. Pérdida de peso de la briqueta por erosión acelerada de chorro para muestras con liga de emulsión asfáltica CSS 1h

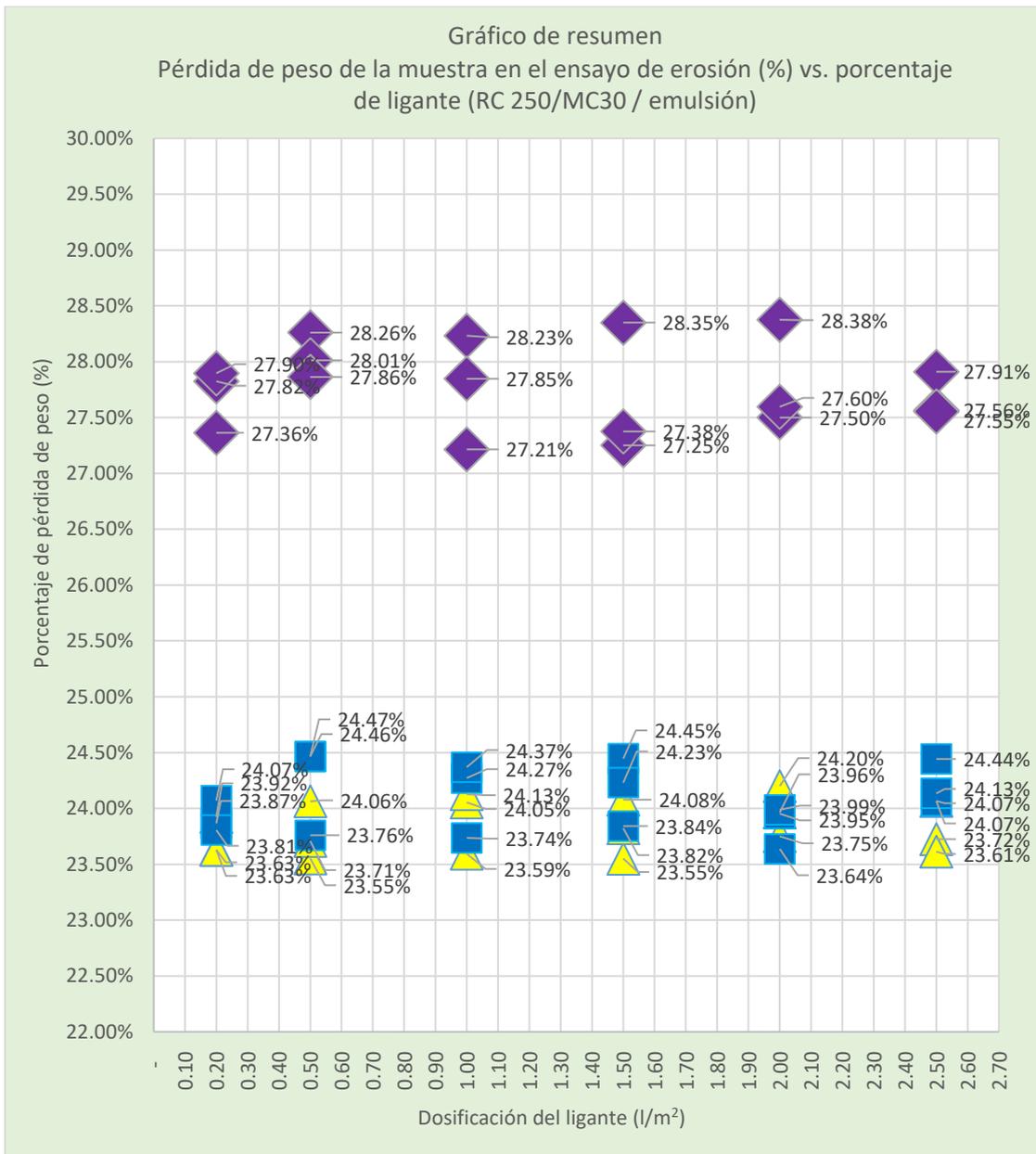


Figura 35. Resumen de pérdida de peso de la briqueta por erosión acelerada de chorro para muestras con liga de RC 250, MC 30 y emulsión asfáltica CSS 1h

En términos generales se registra que las diferentes dosificaciones de ligantes de 0.20, 0.50, 1.0, 1.50, 2.0 y 2.50 no tiene mucha relevancia, sin embargo, sí se puede notar que la liga de asfalto recortado RC250 y MC30 ofrece mucha más protección de la liga de emulsión asfáltica CSS 1h. Dado que en esta última los valores de pérdida de masa son en promedio 16.50 % más.

4.6. Evaluación estadística de resultados

4.6.1. Resistencia al corte

4.6.1.1. Descriptivos

Las diferentes dosis (l/m^2) de cada ligante utilizadas en el estudio de laboratorio generaron una serie de bases de datos con características estadísticas descriptivas independientes de las emulsiones bituminosas RC 250, MC 30 y CSS 1h. En la siguiente tabla, se proporcionan estadísticas descriptivas de la resistencia al corte estimado (kg) para determinar la normalidad de la distribución de los resultados obtenidos y así correlacionar las variables según corresponda.

		Descriptivos				
	Dosificación (l/m^2)		Estadístico	Desv. Error		
Resistencia al corte (kg) - RC250	,20	Media	95,3833	4,04324		
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	77,9867		
			Límite superior	112,7800		
		Media recortada al 5%	.			
		Mediana	93,4500			
		Varianza	49,043			
		Desv. Desviación	7,00309			
		Mínimo	89,55			
		Máximo	103,15			
		Rango	13,60			
		Rango intercuartil	.			
		Asimetría	1,148	1,225		
		Curtosis	.	.		
			,50	Media	153,1200	3,87427
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	136,4503
Límite superior	169,7897					
Media recortada al 5%	.					
Mediana	151,7200					
Varianza	45,030					
Desv. Desviación	6,71044					
Mínimo	147,22					
Máximo	160,42					
Rango	13,20					
Rango intercuartil	.					
Asimetría	,898			1,225		
Curtosis	.			.		

1,00	Media		85,4933	3,03827
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	72,4207	
		Límite superior	98,5660	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		84,5600	
	Varianza		27,693	
	Desv. Desviación		5,26245	
	Mínimo		80,76	
	Máximo		91,16	
	Rango		10,40	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,773	1,225
	Curtosis		.	
	1,50	Media		72,9400
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	55,9441	
		Límite superior	89,9359	
Media recortada al 5%			.	
Mediana			71,3400	
Varianza			46,810	
Desv. Desviación			6,84178	
Mínimo			67,04	
Máximo			80,44	
Rango			13,40	
Rango intercuartil			.	
Asimetría			,995	1,225
Curtosis			.	
2,00		Media		71,9567
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	59,3747	
		Límite superior	84,5386	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		72,8900	
	Varianza		25,653	
	Desv. Desviación		5,06491	
	Mínimo		66,49	
	Máximo		76,49	
	Rango		10,00	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,801	1,225
	Curtosis		.	
	2,50	Media		68,8533
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	53,6608	
		Límite superior	84,0459	

		Media recortada al 5%				
		Mediana	67,2200			
		Varianza	37,403			
		Desv. Desviación	6,11583			
		Mínimo	63,72			
		Máximo	75,62			
		Rango	11,90			
		Rango intercuartil				
		Asimetría	1,116	1,225		
		Curtosis				
Resistencia al corte (kg) - MC-30	,20	Media	74,7000	2,97714		
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	61,8904		
			Límite superior	87,5096		
	Media recortada al 5%					
	Mediana	75,0000				
	Varianza	26,590				
	Desv. Desviación	5,15655				
	Mínimo	69,40				
	Máximo	79,70				
	Rango	10,30				
	Rango intercuartil					
	Asimetría	-,261		1,225		
	Curtosis					
		,50	Media	125,3333	4,50420	
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	105,9533	
				Límite superior	144,7133	
		Media recortada al 5%				
Mediana		124,3000				
Varianza		60,863				
Desv. Desviación		7,80150				
Mínimo		118,10				
Máximo		133,60				
Rango		15,50				
Rango intercuartil						
Asimetría		,586		1,225		
Curtosis						
1,00			Media	118,1000	4,12957	
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	100,3319	
				Límite superior	135,8681	
		Media recortada al 5%				
	Mediana	117,1000				
Varianza	51,160					

	Desv. Desviación		7,15262	
	Mínimo		111,50	
	Máximo		125,70	
	Rango		14,20	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,617	1,225
	Curtosis		.	
1,50	Media		81,3667	2,84156
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	69,1404	
		Límite superior	93,5929	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		80,4000	
	Varianza		24,223	
	Desv. Desviación		4,92172	
	Mínimo		77,00	
	Máximo		86,70	
	Rango		9,70	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,850	1,225
	Curtosis		.	
2,00	Media		79,4000	4,62277
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	59,5098	
		Límite superior	99,2902	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		78,3000	
	Varianza		64,110	
	Desv. Desviación		8,00687	
	Mínimo		72,00	
	Máximo		87,90	
	Rango		15,90	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,607	1,225
	Curtosis		.	
2,50	Media		75,0000	2,49065
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	64,2836	
		Límite superior	85,7164	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		75,4000	
	Varianza		18,610	
	Desv. Desviación		4,31393	
	Mínimo		70,50	
	Máximo		79,10	

		Rango	8,60				
		Rango intercuartil	.				
		Asimetría	-,414	1,225			
		Curtosis	.				
Resistencia al corte (kg) - Emulsión asfáltica CSS 1h	,20	Media	47,8333	3,90996			
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	31,0101			
			Límite superior	64,6565			
		Media recortada al 5%	.				
		Mediana	47,2000				
		Varianza	45,863				
		Desv. Desviación	6,77225				
		Mínimo	41,40				
		Máximo	54,90				
		Rango	13,50				
		Rango intercuartil	.				
		Asimetría	,417	1,225			
		Curtosis	.				
			,50	Media	56,0000	2,28108	
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	46,1853	
					Límite superior	65,8147	
				Media recortada al 5%	.		
Mediana	56,1000						
Varianza	15,610						
Desv. Desviación	3,95095						
Mínimo	52,00						
Máximo	59,90						
Rango	7,90						
Rango intercuartil	.						
Asimetría	-,114			1,225			
Curtosis	.						
	1,00			Media	70,5633	3,40457	
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	55,9146	
					Límite superior	85,2120	
				Media recortada al 5%	.		
		Mediana	68,4300				
		Varianza	34,773				
		Desv. Desviación	5,89689				
		Mínimo	66,03				
		Máximo	77,23				
		Rango	11,20				
		Rango intercuartil	.				

	Asimetría		1,415	1,225
	Curtosis		.	.
1,50	Media		64,7667	4,22782
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	46,5758	
		Límite superior	82,9575	
	Media recortada al 5%		.	.
	Mediana		64,1000	
	Varianza		53,623	
	Desv. Desviación		7,32280	
	Mínimo		57,80	
	Máximo		72,40	
	Rango		14,60	
	Rango intercuartil		.	.
	Asimetría		,406	1,225
	Curtosis		.	.
2,00	Media		42,6667	2,75701
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	30,8042	
		Límite superior	54,5291	
	Media recortada al 5%		.	.
	Mediana		42,1000	
	Varianza		22,803	
	Desv. Desviación		4,77528	
	Mínimo		38,20	
	Máximo		47,70	
	Rango		9,50	
	Rango intercuartil		.	.
	Asimetría		,526	1,225
	Curtosis		.	.
2,50	Media		47,1333	6,52414
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	19,0622	
		Límite superior	75,2045	
	Media recortada al 5%		.	.
	Mediana		45,4000	
	Varianza		127,693	
	Desv. Desviación		11,30015	
	Mínimo		36,80	
	Máximo		59,20	
	Rango		22,40	
	Rango intercuartil		.	.
	Asimetría		,674	1,225
	Curtosis		.	.

Figura 36. Descriptivos de la resistencia al corte

4.6.1.2. Prueba de normalidad

Con los datos descriptivos detallados, se presenta en la siguiente tabla la prueba de normalidad para los resultados de resistencia al corte (kg) del RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h sometida a analizar por Shapiro-Wilk, debido a que, se presentaron grados de libertad menores a 50, con el objeto de someter a prueba las siguientes hipótesis:

H₀: los datos en análisis provienen de una distribución normal

H₁: los datos en análisis no provienen de una distribución normal

Teniendo que, para el RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h se presentan distribuciones normales al aceptar la hipótesis nula, ya que los valores de significancia característicos en cada uno de los tres tipos de ligante en análisis son mayores de 0.05 en cada una de sus dosificaciones (l/m²) ensayadas, condicionando de esta forma el análisis de correlación a realizarse mediante el coeficiente de Pearson.

Pruebas de normalidad

	Dosificación (lt/m ²)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia al corte (kg) - RC250	,20	,275	3	.	,943	3	,539
	,50	,249	3	.	,967	3	,653
	1,00	,237	3	.	,976	3	,705
	1,50	,259	3	.	,959	3	,611
	2,00	,240	3	.	,975	3	,694
	2,50	,272	3	.	,947	3	,554
Resistencia al corte (kg) - MC-30	,20	,190	3	.	,997	3	,904
	,50	,219	3	.	,987	3	,780
	1,00	,222	3	.	,985	3	,768
	1,50	,245	3	.	,971	3	,674
	2,00	,221	3	.	,986	3	,772
	2,50	,204	3	.	,994	3	,846
Resistencia al corte (kg) - Emulsión asfáltica CSS 1h	,20	,204	3	.	,993	3	,845
	,50	,178	3	.	1,000	3	,958
	1,00	,308	3	.	,902	3	,391
	1,50	,203	3	.	,994	3	,849
	2,00	,214	3	.	,989	3	,803
	2,50	,228	3	.	,982	3	,746

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 37. Prueba de normalidad

4.6.1.3. Correlación

De acuerdo a la prueba de normalidad en la distribución de los datos obtenidos para los resultados de resistencia al corte (kg) del RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h, donde se obtuvo que los tres tipos de ligantes presentaban una distribución normal en sus datos. Se presentan en la siguiente tabla los coeficientes de correlación bivariada donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

$R_0 \neq 0$: existe correlación entre la dosificación (l/m^2) y la resistencia al corte (kg) obtenida con los distintos tipos de ligante.

$R_1 = 0$: no existe correlación entre la dosificación (l/m^2) y la resistencia al corte (kg) obtenida con los distintos tipos de ligante.

Presentando que para el RC 250 se acepta la hipótesis nula donde existe una correspondencia entre sus variables con un coeficiente de correlación de -0.873 que representa una correlación negativa muy fuerte, de mismo modo para el MC 30 se acepta la hipótesis nula donde existe una correspondencia entre sus variables con un coeficiente de correlación de -0.646 que representa una correlación negativa considerable y finalmente para la emulsión asfáltica CSS 1h se acepta la hipótesis nula donde existe una correspondencia entre sus variables con un coeficiente de correlación de 0.445 que representa una correlación positiva media.

Correlaciones

		Dosificación (l/m ²)	Resistencia al corte (kg) - RC250	Resistencia al corte (kg) - MC-30	Resistencia al corte (kg) - Emulsión asfáltica CSS 1h
Dosificación (l/m ²)	Correlación de Pearson	1	-,873**	-,646	-,445
	Sig. (bilateral)		,002	,044	,028
	N	18	18	18	18
Resistencia al corte (kg) - RC250	Correlación de Pearson	-,873**	1	,731**	,166
	Sig. (bilateral)	,002		,001	,509
	N	18	18	18	18
Resistencia al corte (kg) - MC-30	Correlación de Pearson	-,646	,731**	1	,599**
	Sig. (bilateral)	,044	,001		,009
	N	18	18	18	18
Resistencia al corte (kg) - Emulsión asfáltica CSS 1h	Correlación de Pearson	-,445	,166	,599**	1
	Sig. (bilateral)	,028	,509	,009	
	N	18	18	18	18

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 38. Correlación

4.6.1.4. Diagrama de dispersión de puntos

Finalmente, en la siguiente figura se presenta en cuadro de dispersión de puntos obtenido para los resultados de resistencia al corte (kg) del RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h de forma independiente. Presentando que para el RC 250 un $R^2 = 0.591$ para la ecuación de ajuste resultante, del mismo modo, se tiene que para el MC 30 se obtuvo un $R^2 = 0.783$ debido a la menor variabilidad entre sus datos y la emulsión asfáltica CSS 1h presentó un $R^2 = 0.626$ para su respectiva ecuación de ajuste. Estos valores inherentes a cada ecuación de ajuste resultante sugieren un comportamiento muy específico a medida que se altera la dosificación dentro de cada uno de los tipos de ligante. Es por lo que el RC 250 presenta el valor más bajo debido a las resistencias tan altas obtenidas al 0.50 en su dosificación (l/m²), lo que sugiere una tendencia variable y a tener en consideración sobre este punto. Para el MC 30 se obtuvo un valor considerable, por lo que es factible aplicar una proyección de datos con un cierto nivel de confianza al igual que la emulsión asfáltica CSS 1h.

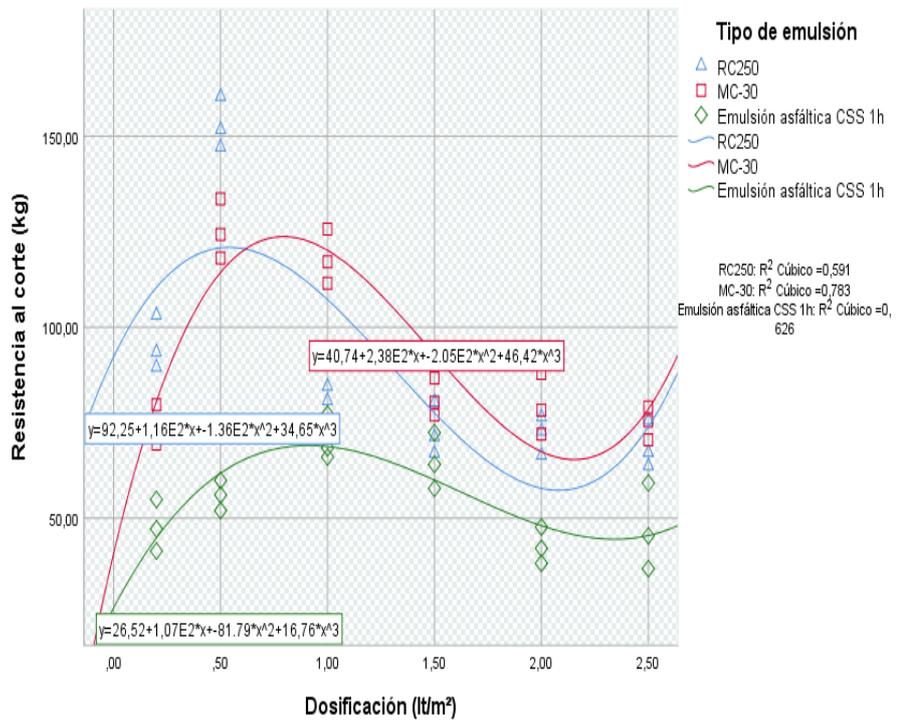


Figura 39. Diagrama de dispersión de puntos

4.6.2. Ensayo de Lottman

4.6.2.1. Descriptivos

Las distintas dosificaciones (l/m^2) empleadas por cada ligante aplicado en los estudios de laboratorio genera una serie de base de datos con características estadísticas descriptivas independientes para el RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h. Donde, en la siguiente tabla se llega a presentar los datos descriptivos estadísticos para la resistencia Lottman evaluada con el objeto de identificar la normalidad en la distribución de los resultados obtenidos y esta manera correlacionar las variables según corresponda.

Descriptivos

		Dosificación (lt/m ²)	Estadístico	Desv. Error	
Resistencia L. (kg) - RC250	,20	Media	243,3000	3,06649	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	230,1060	
			Límite superior	256,4940	
	Media recortada al 5%	.			
	Mediana	240,8000			
	Varianza	28,210			
	Desv. Desviación	5,31131			
	Mínimo	239,70			
	Máximo	249,40			
	Rango	9,70			
	Rango intercuartil	.			
	Asimetría	1,649	1,225		
	Curtosis	.			
	,50	,50	Media	292,9333	3,42750
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	278,1860
Límite superior				307,6807	
Media recortada al 5%		.			
Mediana		290,5000			
Varianza		35,243			
Desv. Desviación		5,93661			
Mínimo		288,60			
Máximo		299,70			
Rango		11,10			
Rango intercuartil		.			
Asimetría		1,535	1,225		
Curtosis		.			
1,00		1,00	Media	306,2133	1,53442

	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	299,6113	
		Límite superior	312,8154	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		304,7800	
	Varianza		7,063	
	Desv. Desviación		2,65769	
	Mínimo		304,58	
	Máximo		309,28	
	Rango		4,70	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,721	1,225
	Curtosis		.	.
1,50	Media		274,1267	1,92729
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	265,8342	
		Límite superior	282,4191	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		272,5600	
	Varianza		11,143	
	Desv. Desviación		3,33816	
	Mínimo		271,86	
	Máximo		277,96	
	Rango		6,10	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,647	1,225
	Curtosis		.	.
2,00	Media		265,1533	4,43634
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	246,0653	
		Límite superior	284,2414	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		264,3200	
	Varianza		59,043	
	Desv. Desviación		7,68397	
	Mínimo		257,92	
	Máximo		273,22	
	Rango		15,30	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,482	1,225
	Curtosis		.	.
2,50	Media		233,5500	2,66521
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	222,0825	
		Límite superior	245,0175	

		Media recortada al 5%			
		Mediana	234,4500		
		Varianza	21,310		
		Desv. Desviación	4,61628		
		Mínimo	228,55		
		Máximo	237,65		
		Rango	9,10		
		Rango intercuartil			
		Asimetría	-,844	1,225	
		Curtosis			
Resistencia L. (kg) - MC-30	,20	Media	209,9333	2,72295	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	198,2174	
			Límite superior	221,6492	
	Media recortada al 5%				
	Mediana	208,5000			
	Varianza	22,243			
	Desv. Desviación	4,71628			
	Mínimo	206,10			
	Máximo	215,20			
	Rango	9,10			
	Rango intercuartil				
	Asimetría	1,241	1,225		
	Curtosis				
	,50	,50	Media	261,1500	3,10000
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	247,8118
				Límite superior	274,4882
		Media recortada al 5%			
		Mediana	262,4500		
		Varianza	28,830		
Desv. Desviación		5,36936			
Mínimo		255,25			
Máximo		265,75			
Rango		10,50			
Rango intercuartil					
Asimetría		-1,026	1,225		
Curtosis					
1,00		1,00	Media	238,6867	3,96246
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	221,6376
				Límite superior	255,7358
		Media recortada al 5%			
		Mediana	240,1200		
		Varianza	47,103		

	Desv. Desviación		6,86319	
	Mínimo		231,22	
	Máximo		244,72	
	Rango		13,50	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,899	1,225
	Curtosis		.	
1,50	Media		215,2267	4,06994
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	197,7151	
		Límite superior	232,7382	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		213,5600	
	Varianza		49,693	
	Desv. Desviación		7,04935	
	Mínimo		209,16	
	Máximo		222,96	
	Rango		13,80	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,004	1,225
	Curtosis		.	
2,00	Media		205,3000	3,03150
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	192,2565	
		Límite superior	218,3435	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		205,4000	
	Varianza		27,570	
	Desv. Desviación		5,25071	
	Mínimo		200,00	
	Máximo		210,50	
	Rango		10,50	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,086	1,225
	Curtosis		.	
2,50	Media		182,1667	3,24260
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	168,2149	
		Límite superior	196,1184	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		180,6000	
	Varianza		31,543	
	Desv. Desviación		5,61635	
	Mínimo		177,50	
	Máximo		188,40	

		Rango	10,90			
		Rango intercuartil	.			
		Asimetría	1,158	1,225		
		Curtosis	.			
Resistencia L. (kg) - Emulsión asfáltica CSS 1h	,20	Media	129,6667	4,33026		
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	111,0351		
			Límite superior	148,2983		
	Media recortada al 5%	.				
	Mediana	129,6000				
	Varianza	56,253				
	Desv. Desviación	7,50022				
	Mínimo	122,20				
	Máximo	137,20				
	Rango	15,00				
	Rango intercuartil	.				
	Asimetría	,040	1,225			
	Curtosis	.				
	,50	,50	Media	135,4333	2,69835	
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	123,8233	
				Límite superior	147,0434	
		Media recortada al 5%	.			
		Mediana	134,2000			
		Varianza	21,843			
Desv. Desviación		4,67369				
Mínimo		131,50				
Máximo		140,60				
Rango		9,10				
Rango intercuartil		.				
Asimetría		1,105	1,225			
Curtosis		.				
1,00		1,00	Media	130,5633	3,59506	
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	115,0950	
				Límite superior	146,0316	
		Media recortada al 5%	.			
		Mediana	131,2300			
		Varianza	38,773			
	Desv. Desviación	6,22682				
	Mínimo	124,03				
	Máximo	136,43				
	Rango	12,40				
	Rango intercuartil	.				
	Asimetría	-,476	1,225			

		Curtosis	.	.
1,50		Media	113,7667	3,25389
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	99,7663
			Límite superior	127,7670
		Media recortada al 5%	.	.
		Mediana	114,5000	.
		Varianza	31,763	.
		Desv. Desviación	5,63590	.
		Mínimo	107,80	.
		Máximo	119,00	.
		Rango	11,20	.
		Rango intercuartil	.	.
		Asimetría	-,576	1,225
		Curtosis	.	.
2,00		Media	103,8000	2,14554
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	94,5685
			Límite superior	113,0315
		Media recortada al 5%	.	.
		Mediana	104,2000	.
		Varianza	13,810	.
		Desv. Desviación	3,71618	.
		Mínimo	99,90	.
		Máximo	107,30	.
		Rango	7,40	.
		Rango intercuartil	.	.
		Asimetría	-,479	1,225
		Curtosis	.	.
2,50		Media	89,4000	3,23574
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	75,4777
			Límite superior	103,3223
		Media recortada al 5%	.	.
		Mediana	88,5000	.
		Varianza	31,410	.
		Desv. Desviación	5,60446	.
		Mínimo	84,30	.
		Máximo	95,40	.
		Rango	11,10	.
		Rango intercuartil	.	.
		Asimetría	,704	1,225
		Curtosis	.	.

Figura 40. Descriptivos a partir del ensayo de Lottman

4.6.2.2. Prueba de normalidad

Con los datos descriptivos detallados, se presenta en la siguiente tabla la prueba de normalidad para los resultados de resistencia Lottman del RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h sometida a analizar por Shapiro-Wilk, debido a que se presentaron grados de libertad menores a 50, con el objeto de someter a prueba las siguientes hipótesis:

H₀: los datos en análisis provienen de una distribución normal.

H₁: los datos en análisis no provienen de una distribución normal.

Teniendo que para el RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h se presentan distribuciones normales al aceptar la hipótesis nula, ya que los valores de significancia característicos en cada uno de los tres tipos de ligante en análisis son mayores de 0.05 en cada una de sus dosificaciones (l/m²) ensayadas, condicionando de esta forma el análisis de correlación a realizarse mediante el coeficiente de Pearson.

Pruebas de normalidad

	Dosificación (l/m ²)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Resistencia L. (kg) - RC250	,20	,348	3	.	,834	3	,198
	,50	,326	3	.	,874	3	,307
	1,00	,372	3	.	,782	3	,072
	1,50	,347	3	.	,835	3	,201
	2,00	,210	3	.	,991	3	,820
	2,50	,244	3	.	,971	3	,676
Resistencia L. (kg) - MC-30	,20	,286	3	.	,931	3	,491
	,50	,262	3	.	,956	3	,597
	1,00	,249	3	.	,967	3	,653
	1,50	,260	3	.	,958	3	,606
	2,00	,177	3	.	1,000	3	,968
	2,50	,277	3	.	,942	3	,534
Resistencia L. (kg) - Emulsión asfáltica CSS 1h	,20	,176	3	.	1,000	3	,985
	,50	,271	3	.	,948	3	,560
	1,00	,209	3	.	,991	3	,823
	1,50	,218	3	.	,987	3	,784
	2,00	,210	3	.	,991	3	,822
	2,50	,230	3	.	,981	3	,734

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 41. Prueba de normalidad

4.6.2.3. Correlación

De acuerdo a la prueba de normalidad en la distribución de los datos obtenidos para los resultados de resistencia Lottman del RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h, donde se obtuvo que los tres tipos de ligantes presentaban una distribución normal en sus datos. Se presentan en la siguiente tabla los coeficientes de correlación bivariada donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

$R_0 \neq 0$: existe correlación entre la dosificación (l/m^2) y la resistencia Lottman obtenida con los distintos tipos de ligante.

$R_1 = 0$: no existe correlación entre la dosificación (l/m^2) y la resistencia Lottman obtenida con los distintos tipos de ligante.

Presentando que para el RC 250 se acepta la hipótesis nula, donde existe una correspondencia entre sus variables con un coeficiente de correlación de -0.369 que representa una correlación negativa media, del mismo modo, para el MC 30 se acepta la hipótesis nula donde existe una correspondencia entre sus variables con un coeficiente de correlación de -0.678 que representa una correlación negativa considerable y, finalmente, para la emulsión asfáltica CSS 1h se acepta la hipótesis nula donde existe una correspondencia entre sus variables con un coeficiente de correlación de 0.913 que representa una correlación negativa perfecta.

Correlaciones

		Dosificación (lt/m ²)	Resistencia L. (kg) - RC250	Resistencia L. (kg) - MC-30	Resistencia L. (kg) - Emulsión asfáltica CSS 1h
Dosificación (lt/m ²)	Correlación de Pearson	1	-,369	-,678**	-,913**
	Sig. (bilateral)		,132	,002	,000
	N	18	18	18	18
Resistencia L. (kg) - RC250	Correlación de Pearson	-,369	1	,858**	,650**
	Sig. (bilateral)	,132		,000	,003
	N	18	18	18	18
Resistencia L. (kg) - MC-30	Correlación de Pearson	-,678**	,858**	1	,860**
	Sig. (bilateral)	,002	,000		,000
	N	18	18	18	18
Resistencia L. (kg) - Emulsión asfáltica CSS 1h	Correlación de Pearson	-,913**	,650**	,860**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,003	,000	
	N	18	18	18	18

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 42. Correlación

4.6.2.4. Diagrama de dispersión de puntos

Finalmente, en la siguiente figura se presenta en cuadro de dispersión de puntos obtenido para los resultados de resistencia Lottman del RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h de forma independiente. Presentando que para el RC 250 un $R^2 = 0.895$ para la ecuación de ajuste resultante, del mismo modo, se tiene que para el MC 30 se obtuvo un $R^2 = 0.804$ debido a la menor variabilidad entre sus datos y la emulsión asfáltica CSS 1h presentó un $R^2 = 0.917$ para su respectiva ecuación de ajuste.

Estos valores de inherentes a cada ecuación de ajuste resultante sugieren un comportamiento muy específico a medida que se altera la dosificación dentro de cada uno de los tipos de ligante. Es por lo que, el RC 250 presenta una tendencia negativa en forma de campana a medida que aumentan los valores en su dosificación (l/m²), este comportamiento presenta forma similar, pero a distintas escalas en los demás tipos en ligantes estudiados. Para el RC 250, MC 30 se obtuvieron valores de R^2 considerables, por lo que es factible aplicar una proyección de datos con un cierto nivel de confianza al igual que la emulsión asfáltica CSS 1h que fue el que mayor confiabilidad asigna a su respectiva ecuación de ajuste.

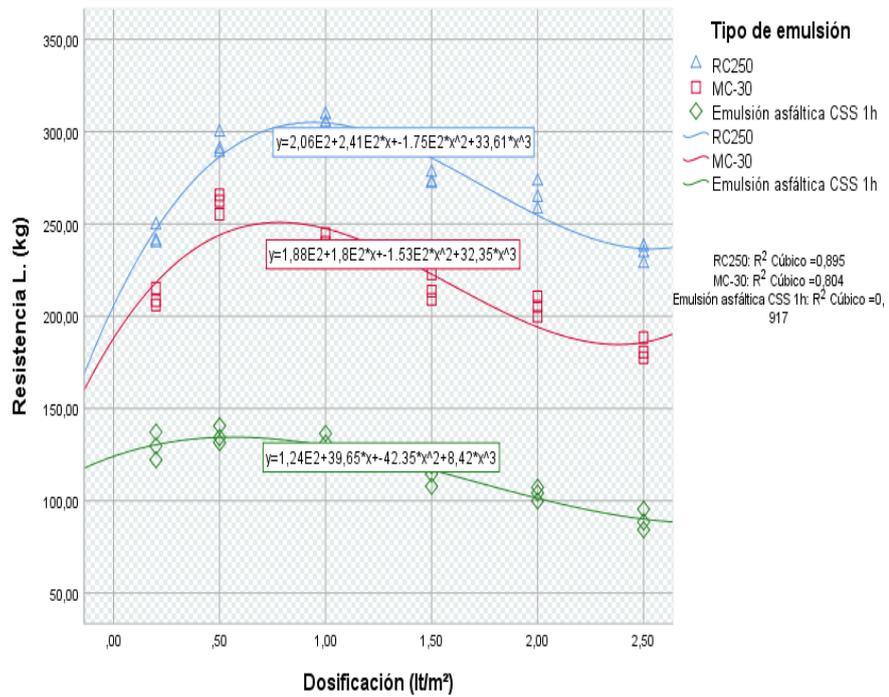


Figura 43. Diagrama de dispersión de puntos

4.6.3. Pérdida de peso por erosión

4.6.3.1. Descriptivos

Las distintas dosificaciones (l/m^2) empleadas por cada ligante aplicado en los estudios de laboratorio genera una serie de base de datos con características estadísticas descriptivas independientes para el RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h. Donde, en la siguiente tabla, se llegan a presentar los datos descriptivos estadísticos para la pérdida de peso evaluada con el objeto de identificar la normalidad en la distribución de los resultados obtenidos.

Descriptivos

		Dosificación (t/m ²)	Estadístico	Desv. Error	
Pérdida de peso (%) - RC250	,20	Media	23,7267	,09667	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,3107	
			Límite superior	24,1426	
	Media recortada al 5%	.			
	Mediana	23,6300			
	Varianza	,028			
	Desv. Desviación	,16743			
	Mínimo	23,63			
	Máximo	23,92			
	Rango	,29			
	Rango intercuartil	.			
	Asimetría	1,732	1,225		
	Curtosis	.			
	,50	,50	Media	23,7733	,15059
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,1254
Límite superior				24,4213	
Media recortada al 5%		.			
Mediana		23,7100			
Varianza		,068			
Desv. Desviación		,26083			
Mínimo		23,55			
Máximo		24,06			
Rango		,51			
Rango intercuartil		.			
Asimetría		1,028	1,225		
Curtosis		.			
1,00		1,00	Media	23,9233	,16826
			95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,1994
	Límite superior			24,6473	

	Media recortada al 5%		
	Mediana	24,0500	
	Varianza	,085	
	Desv. Desviación	,29143	
	Mínimo	23,59	
	Máximo	24,13	
	Rango	,54	
	Rango intercuartil	.	
	Asimetría	-1,586	1,225
	Curtosis	.	
1,50	Media	23,8167	,15301
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,1583
		Límite superior	24,4750
	Media recortada al 5%		
	Mediana	23,8200	
	Varianza	,070	
	Desv. Desviación	,26502	
	Mínimo	23,55	
	Máximo	24,08	
	Rango	,53	
	Rango intercuartil	.	
	Asimetría	-,057	1,225
	Curtosis	.	
2,00	Media	23,9700	,13000
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,4107
		Límite superior	24,5293
	Media recortada al 5%		
	Mediana	23,9600	
	Varianza	,051	
	Desv. Desviación	,22517	
	Mínimo	23,75	
	Máximo	24,20	
	Rango	,45	
	Rango intercuartil	.	
	Asimetría	,199	1,225
	Curtosis	.	
2,50	Media	23,8000	,13868
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,2033
		Límite superior	24,3967
	Media recortada al 5%		
	Mediana	23,7200	
	Varianza	,058	

		Desv. Desviación	,24021		
		Mínimo	23,61		
		Máximo	24,07		
		Rango	,46		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	1,332	1,225	
		Curtosis	.	.	
Pérdida de peso (%) - MC-30	,20	Media	23,9167	,07860	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,5785	
	Límite superior		24,2549		
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	23,8700		
		Varianza	,019		
		Desv. Desviación	,13614		
		Mínimo	23,81		
		Máximo	24,07		
		Rango	,26		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	1,361	1,225	
		Curtosis	.	.	
		,50	Media	24,2300	,23502
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,2188	
Límite superior	25,2412				
	Media recortada al 5%	.			
	Mediana	24,4600			
	Varianza	,166			
	Desv. Desviación	,40706			
	Mínimo	23,76			
	Máximo	24,47			
	Rango	,71			
	Rango intercuartil	.			
	Asimetría	-1,731	1,225		
	Curtosis	.	.		
	1,00	Media	24,1267	,19548	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,2856		
Límite superior		24,9677			
	Media recortada al 5%	.			
	Mediana	24,2700			
	Varianza	,115			
	Desv. Desviación	,33858			
	Mínimo	23,74			
	Máximo	24,37			
	Rango	,63			

	Rango intercuartil		
	Asimetría	-1,564	1,225
	Curtosis		
1,50	Media	24,1733	,17836
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,4059
		Límite superior	24,9407
	Media recortada al 5%		
	Mediana	24,2300	
	Varianza	,095	
	Desv. Desviación	,30892	
	Mínimo	23,84	
	Máximo	24,45	
	Rango	,61	
	Rango intercuartil		
	Asimetría	-,798	1,225
	Curtosis		
2,00	Media	23,8600	,11060
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,3841
		Límite superior	24,3359
	Media recortada al 5%		
	Mediana	23,9500	
	Varianza	,037	
	Desv. Desviación	,19157	
	Mínimo	23,64	
	Máximo	23,99	
	Rango	,35	
	Rango intercuartil		
	Asimetría	-1,647	1,225
	Curtosis		
2,50	Media	24,2133	,11465
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	23,7200
		Límite superior	24,7066
	Media recortada al 5%		
	Mediana	24,1300	
	Varianza	,039	
	Desv. Desviación	,19858	
	Mínimo	24,07	
	Máximo	24,44	
	Rango	,37	
	Rango intercuartil		
	Asimetría	1,556	1,225
	Curtosis		

Pérdida de peso (%) - Emulsión asfáltica CSS 1h	,20	Media		27,6933	,16826		
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	26,9694			
			Límite superior	28,4173			
		Media recortada al 5%		.			
		Mediana		27,8200			
		Varianza		,085			
		Desv. Desviación		,29143			
		Mínimo		27,36			
		Máximo		27,90			
		Rango		,54			
		Rango intercuartil		.			
		Asimetría		-1,586	1,225		
		Curtosis		.			
		,50	,50	Media		28,0433	,11667
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	27,5414	
Límite superior	28,5453						
Media recortada al 5%				.			
Mediana				28,0100			
Varianza				,041			
Desv. Desviación				,20207			
Mínimo				27,86			
Máximo				28,26			
Rango				,40			
Rango intercuartil				.			
Asimetría				,722	1,225		
Curtosis				.			
1,00	1,00			Media		27,7633	,29762
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	26,4828	
		Límite superior	29,0439				
		Media recortada al 5%		.			
		Mediana		27,8500			
		Varianza		,266			
		Desv. Desviación		,51549			
		Mínimo		27,21			
		Máximo		28,23			
		Rango		1,02			
		Rango intercuartil		.			
		Asimetría		-,735	1,225		
		Curtosis		.			
		1,50	1,50	Media		27,6600	,34704
				95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	26,1668	
Límite superior	29,1532						

	Media recortada al 5%		
	Mediana	27,3800	
	Varianza	,361	
	Desv. Desviación	,60108	
	Mínimo	27,25	
	Máximo	28,35	
	Rango	1,10	
	Rango intercuartil		
	Asimetría	1,641	1,225
	Curtosis		
2,00	Media	27,8267	,27817
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	26,6298
		Límite superior	29,0235
	Media recortada al 5%		
	Mediana	27,6000	
	Varianza	,232	
	Desv. Desviación	,48180	
	Mínimo	27,50	
	Máximo	28,38	
	Rango	,88	
	Rango intercuartil		
	Asimetría	1,648	1,225
	Curtosis		
2,50	Media	27,6733	,11837
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	27,1640
		Límite superior	28,1826
	Media recortada al 5%		
	Mediana	27,5600	
	Varianza	,042	
	Desv. Desviación	,20502	
	Mínimo	27,55	
	Máximo	27,91	
	Rango	,36	
	Rango intercuartil		
	Asimetría	1,727	1,225
	Curtosis		

Figura 44. Descriptivos de pérdida de peso por erosión

4.6.3.2. Prueba de normalidad

Con los datos descriptivos detallados, se presenta en la siguiente tabla, la prueba de normalidad para los resultados de pérdida de peso (%) del RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h sometida a analizar por Shapiro-Wilk debido a que se presentaron grados de libertad menores a 50, con el objeto de someter a prueba las siguientes hipótesis:

H₀: los datos en análisis provienen de una distribución normal.

H₁: los datos en análisis no provienen de una distribución normal.

Teniendo que para el RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h se presentan distribuciones no normales al rechazar la hipótesis nula, ya que en los valores de significancia característicos en cada uno de los tres tipos de ligante en análisis existen valores menores de 0.05 en cada una de sus dosificaciones (l/m²) ensayadas, condicionando de esta forma el análisis de correlación a realizarse mediante el coeficiente de Spearman.

Pruebas de normalidad

	Dosificación (l/m ²)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pérdida de peso (%) - RC250	,20	,385	3	.	,750	3	,000
	,50	,263	3	.	,956	3	,595
	1,00	,335	3	.	,858	3	,263
	1,50	,176	3	.	1,000	3	,979
	2,00	,184	3	.	,999	3	,927
	2,50	,297	3	.	,917	3	,441
Pérdida de peso (%) - MC-30	,20	,301	3	.	,912	3	,424
	,50	,381	3	.	,761	3	,023
	1,00	,331	3	.	,866	3	,283
	1,50	,239	3	.	,975	3	,695
	2,00	,347	3	.	,834	3	,200
	2,50	,329	3	.	,868	3	,290
Pérdida de peso (%) - Emulsión asfáltica CSS 1h	,20	,335	3	.	,858	3	,263
	,50	,232	3	.	,980	3	,726
	1,00	,233	3	.	,979	3	,721
	1,50	,346	3	.	,837	3	,207
	2,00	,348	3	.	,834	3	,199
	2,50	,376	3	.	,771	3	,047

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 45. Prueba de normalidad

4.6.3.3. Correlación

De acuerdo a la prueba de normalidad en la distribución de los datos obtenidos para los resultados de pérdida de masa (%) del RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h, donde se obtuvo que los tres tipos de ligantes presentaban una distribución no normal en sus datos. Se presentan, en la siguiente tabla, los coeficientes de correlación bivariada donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

$R_0 \neq 0$: existe correlación entre la dosificación (l/m^2) y la pérdida de masa (%) obtenida con los distintos tipos de ligante.

$R_1 = 0$: no existe correlación entre la dosificación (l/m^2) y la pérdida de masa (%) obtenida con los distintos tipos de ligante.

Presentando que para el RC 250 se acepta la hipótesis nula, donde existe una correspondencia entre sus variables con un coeficiente de correlación de 0.617 que representa una correlación positiva considerable, del mismo modo, para el MC 30 se acepta la hipótesis nula donde existe una correspondencia entre sus variables con un coeficiente de correlación de 0.456 que representa una correlación positiva media y, finalmente, para la emulsión asfáltica CSS 1h se acepta la hipótesis nula donde existe una correspondencia entre sus variables con un coeficiente de correlación de -0.472 que representa una correlación negativa media.

Correlaciones

			Dosificación (t/m ²)	Pérdida de peso (%) - RC250	Pérdida de peso (%) - MC-30	Pérdida de peso (%) - Emulsión asfáltica CSS 1h
Rho de Spearman	Dosificación (t/m ²)	Coefficiente de correlación	1,000	,617	,456	-,472
		Sig. (bilateral)	.	,388	,824	,776
		N	18	18	18	18
	Pérdida de peso (%) - RC250	Coefficiente de correlación	,217	1,000	,011	,320
		Sig. (bilateral)	,388	.	,966	,195
		N	18	18	18	18
	Pérdida de peso (%) - MC-30	Coefficiente de correlación	,456	,011	1,000	-,077
		Sig. (bilateral)	,824	,966	.	,760
		N	18	18	18	18
	Pérdida de peso (%) - Emulsión asfáltica CSS 1h	Coefficiente de correlación	-,472	,320	-,077	1,000
		Sig. (bilateral)	,776	,195	,760	.
		N	18	18	18	18

Figura 46. Correlación

4.6.3.4. Diagrama de dispersión de puntos

Finalmente, en las siguientes figuras se presenta el cuadro de dispersión de puntos, obtenido para los resultados de pérdida de masa (%) del RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS 1h de forma independiente. Presentando que, para el RC 250 un $R^2 = 0.091$ para la ecuación de ajuste resultante, del mismo modo, se tiene que para el MC 30 se obtuvo un $R^2 = 0.208$ debido a la menor variabilidad entre sus datos y la emulsión asfáltica CSS 1h presentó un $R^2 = 0.029$ para su respectiva ecuación de ajuste.

Estos valores de inherentes a cada ecuación de ajuste resultante sugieren un comportamiento muy específico a medida que se altera la dosificación dentro de cada uno de los tipos de ligante. Es por lo que, el MC 30 presenta una tendencia positiva en forma de campana a medida que aumentan los valores en su dosificación (l/m²), este comportamiento se presenta forma de similar, pero a distintas escalas en los demás tipos en ligantes estudiados. Para el RC 250, MC 30 y la emulsión asfáltica CSS se obtuvieron valores de R^2 muy bajos, por lo que no es factible aplicar una proyección de datos con un aceptable nivel de confianza al igual que las ecuaciones de ajuste, este comportamiento refleja el efecto que llega a generar el ensayo de pulverizado de agua a presión sobre cada muestra.

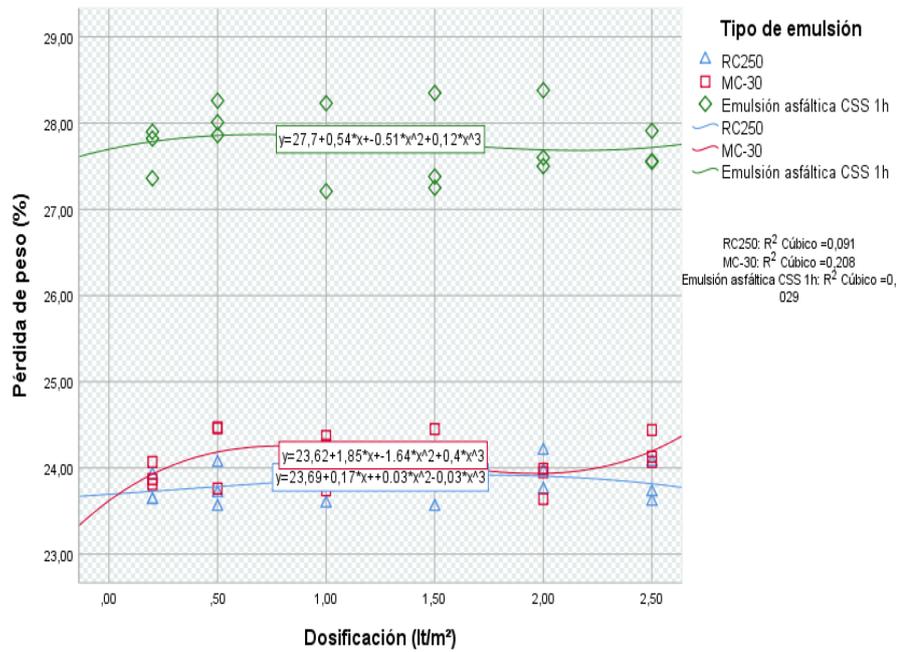


Figura 47. Diagrama de dispersión de puntos

4.7. Discusión de resultados

4.7.1. Resistencia a la tracción indirecta en la interfaz

En el trabajo «Desempeño de ligantes de asfalto usados como riesgos de alianza en ligantes de mezclas asfálticas, usando el método LCB» (10), donde el objetivo fue estudiar el efecto de unión e irrigación en el desempeño de carpetas elaboradas a partir de mezclas asfálticas tradicionales y modificadas con partículas de caucho reciclado GCR, agregando aditivos a la emulsión asfáltica. En la investigación, además de la resistencia al corte se evaluó también la resistencia a la tracción indirecta, donde se aplica una carga indirecta a la liga, y también se realizó el ensayo de la erosión por chorro, la investigación ha demostrado que estos tres ensayos dan información sobre el aporte de la liga a la resistencia, sustentándose en los resultados obtenidos. Estos resultados indican que el asfalto diluido más efectivo de los tres aplicados en esta investigación es el asfalto recortado de rompimiento rápido RC250. Se debe tener en cuenta que, en esta investigación solo se evalúa la resistencia en la interface mas no se evalúa aspectos ambientales, por lo que, el uso de RC250 es muy limitado en el Perú. Sin embargo, como comportamiento, la investigación ha demostrado que entre los tres el más efectivo es el RC250.

En la conferencia, realizada en Arica, Chile, Bravo et al. (27), presentaron el estudio de especificaciones de ligantes, en el que obtuvieron valores de resistencia a la tracción indirecta promedio en mezclas asfálticas de

27 kg/cm² en laboratorio y de 28.80 kg/cm² en campo de muestras de mezcla asfáltica en caliente, en esta investigación se obtuvo resistencias máximas de 309.28 kg (1.1605 kg/cm²) para el caso de la muestra de base estabilizada ligada con el micro pavimento mediante el asfalto recortado RC250, de 265.75 kg (0.9971 kg/cm²) para el caso de la muestra de base estabilizada con el micro pavimento mediante el asfalto recortado MC30 y de 140.60 kg (0.5276 kg/cm²) para el caso de la muestra de base estabilizada ligada con el micro pavimento mediante la emulsión asfáltica CSS 1h. Estos valores son considerablemente bajos comparados con los obtenidos en las muestras de mezcla asfáltica en caliente, hecho que es lo esperado, ya que la mezcla asfáltica en caliente tiene mayor resistencia que una base estabilizada con cemento que además muestra un comportamiento frágil. Sin embargo, también se llegó a la conclusión de que la liga fue más eficiente y la que da el valor más alto que se obtiene con el RC250.

4.7.2. Resistencia al corte en la interfaz

En la investigación «Análisis de la optimización del riego de liga en la colocación de carpeta de asfalto caliente» (12), el objetivo general fue evaluar por medio de ensayo de laboratorio de resistencia al corte por cizallamiento la optimización de riego de liga, en la colocación de carpetas asfálticas en caliente y reparadas. El autor concluye que, el mejor aglutinante para la unión con mezcla asfáltica densa es el asfalto original AC-30, el esfuerzo cortante es de 0.45 MPa, agregando las dos abrazaderas asfálticas con asfalto emulsionado CSS-1h con un esfuerzo cortante de 0,41 MPa y asfalto emulsionado CRS-2Pe con un esfuerzo cortante de 0,46 MPa. En este caso, se puede obtener resistencia al corte de entre 160.42 kg para la liga de RC250 para una dosificación de 0.50 l/m², 133.60 kg.

Para la liga de MC30, la resistencia obtenida fue 133.60 kg para una dosificación de 1.00 l/m² y 77.23 kg para la liga de emulsión asfáltica CSS-1h para una dosificación de 1.00 l/m². Para poder comparar con los resultados de Cornejo (12) se divide el resultado en kg, que se divide entre el área de la briqueta de 4 pulgadas de diámetro, que tiene un área de 81.073 cm², se obtiene 0.194 MPa para el RC250, 0.162 MPa para el MC30 y 0.093 MPa para emulsión asfáltica CSS-1h, que son considerablemente más bajos que los obtenidos en la investigación de referencia.

4.7.3. Resistencia a la erosión en la interfaz

El estudio de Orihuela (28) realizó ensayos de erosión y obtuvo los resultados del porcentaje de pérdida de masa al rociar agua a presión a una presión de 0,5 KPa a distancias de 18, 10 y 5 cm del punto de salida del chorro de agua. A partir de los resultados se puede decir que no existe una pérdida de masa típica en los terrones ya que se obtiene una pérdida de masa del 1 % al 6 %. En el caso de esta investigación se toma en cuenta que el micro pavimento se elabora con emulsión asfáltica que es considerablemente más susceptible al agua. Para el caso de las muestras con liga de asfalto recortado RC250 se pudo obtener valores de pérdida de masa promedio de 23.84 %, valores mínimos de alrededor de 23.55 % y máximos de 24.20 % con una desviación estándar 0.22 %. Como se puede ver, la pérdida es casi constante viendo que la variación de la dosificación casi no tiene influencia en el nivel de protección. Para el caso de las muestras con liga de asfalto recortado MC30 se pudo obtener valores de pérdida de masa promedio de 24.09 %, valores mínimos de alrededor de 23.64 % y máximos de 24.09 % con una desviación estándar 0.28 % y finalmente el caso de las muestras con liga de emulsión asfáltica CSS 1h se pudo obtener valores de pérdida de masa promedio de 27.78 %, valores mínimos de alrededor de 27.21 % y máximos de 28.38 % con una desviación estándar 0.37 %. Como se puede ver la pérdida es casi constante viendo que la variación de la dosificación casi no tiene influencia en el nivel de protección, tan igual como la liga con el RC250 y MC30. En este caso, las pérdidas de masa fueron mayores a la investigación de la referencia, ya que en ese caso se trataba de muestras elaboradas con mezcla asfáltica en caliente. Al tener una capa más débil como el micro pavimento el porcentaje de pérdida fue mayor.

CONCLUSIONES

- La investigación ha demostrado que existe diferencia en la efectividad mecánica del riego de liga en la interfaz del micropavimento y las bases estabilizadas ligados con asfalto recortado RC250, MC30 y emulsiones asfálticas CSS 1h. Se ha podido verificar con los ensayos realizados de resistencia al corte, ensayo de tracción indirecta de Lottman y ensayo de erosión, la liga que presentó mayor efectividad en la adherencia en la interfaz que fue elaborado con RC250 para dosificaciones de entre 0.50 l/cm² a 1.00 l/cm² seguido de MC30 con dosificaciones similares entre 0.20 l/cm² a 1.00 l/cm² y la más débil a la conformada con la liga de emulsión asfáltica con dosificaciones entre 1.00 l/cm² a 1.50 l/cm².
- La investigación ha mostrado que, respecto a la resistencia al corte, para el caso del riego de liga realizado con el asfalto recortado RC 250, se obtuvo una resistencia mínima de 63.72 kg y una máxima de 160.42 kg, obtenidas a dosificaciones de 2.50 l/m² y 0.50 l/m² respectivamente. En el caso del asfalto recortado MC 30, se obtuvo una resistencia mínima de 69.40 kg y una máxima de 133.60 kg, obtenidas a dosificaciones de 0.20 l/m² y 0.50 l/m², respectivamente. En el caso de la emulsión asfáltica CSS-1h, se obtuvo una resistencia mínima de 36.80 kg y una máxima de 77.23 kg, obtenidas a dosificaciones de 2.50 l/m² y 1.00 l/m² respectivamente. En el análisis de cada una de las gráficas se puede ver, que a dosificaciones bajas de entre 0.20 l/m², se obtienen resistencias al corte bajas, que entre las dosificaciones de 0.50 l/m² a 1.00 l/m² se obtienen resistencias más altas. A partir de 1 l/m² hacia a arriba las resistencias al corte disminuyen.
- La investigación ha mostrado que respecto a la resistencia a la tracción indirecta de Lottman, se obtuvieron valores de resistencia más elevados, ya que en este caso además de la interfaz, también aportan a la resistencia la base estabilizada y el micropavimento. Como se pudo registrar en los resultados del ensayo de tracción indirecta de Lottman, para el caso del riego de liga realizado con el asfalto recortado RC 250, se obtuvo una resistencia mínima de 228.55 kg y una máxima de 309.28 kg, obtenidas a dosificaciones de 2.50 l/m² y 1.00 l/m² respectivamente, en el caso del asfalto recortado MC 30, se obtuvo una resistencia mínima de 177.50 kg y una máxima de 265.75 kg, obtenidas a dosificaciones de 2.50 l/m² y 0.20 l/m² respectivamente, en el caso de la emulsión asfáltica CSS 1h, se obtuvo una resistencia mínima de 84.30 kg y una máxima de 140.60 kg, obtenidas a dosificaciones de 2.50 l/m² y 0.50 l/m² respectivamente. En este ensayo también el que obtuvo los mejores valores fue el RC250.

- La investigación ha mostrado que, respecto a la resistencia a la erosión, para el caso de las muestras con liga de asfalto recortado RC250 se pudo obtener valores de pérdida de masa promedio de 23.84 %, valores mínimos de alrededor de 23.55 % y máximos de 24.20 % con una desviación estándar 0.22 %. Como se puede ver, la pérdida es casi constante viendo que la variación de la dosificación casi no tiene influencia en el nivel de protección. Para el caso de las muestras con liga de emulsión asfáltica CSS 1h se pudo obtener valores de pérdida de masa promedio de 27.78 %, valores mínimos de alrededor de 27.21 % y máximos de 28.38 % con una desviación estándar 0.37 %. Como se puede ver, la pérdida es casi constante viendo que la variación de la dosificación casi no tiene influencia en el nivel de protección, tan igual como la liga con el RC250 y MC30. Para el caso de las muestras con liga de asfalto recortado MC30 se pudo obtener valores de pérdida de masa promedio de 24.09 %, valores mínimos de alrededor de 23.64 % y máximos de 24.09 % con una desviación estándar de 0.28 %. Como se puede ver, la pérdida es casi constante viendo que la variación de la dosificación casi no tiene influencia en el nivel de protección, al igual que el RC250. Finalmente, se puede apreciar que las capas de liga tienen poca participación en la resistencia a la erosión, pero sí se puede decir que RC250 con MC30 son similares, la emulsión protege menos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios similares con otros tipos de pavimentos delgados con problemas de desprendimiento como los morteros asfálticos, tratamientos superficiales mono capa y bicapa.
- Se recomienda realizar estudios sobre la efectividad de adherencia en la interfaz de recapeos, mezcla asfáltica – losa de concreto, concreto – concreto y mezcla asfáltica – mezcla asfáltica.
- Se recomienda incluir ensayos de evaluación de adherencia en la interfaz en el manual de especificaciones técnicas y de mantenimiento del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **LUGO ÁLVAREZ, Emel Diego.** *Imprimación asfáltica con emulsión espacial EAP en bases tratadas con cemento portland, para optimizar la adherencia de la capa bituminosa.* Lima, Perú : Universidad Ricardo Palma, 2022.
2. **CUAYLA FLORES, Kelvin Gabriel.** *Pavimentos low cost de base estabilizada con emulsión css-1h en las carreteras vecinales de Los Palos - La Yarada - Tacna - 2020.* Moquegua, Perú : Universidad José Carlos Mariátegui, 2021.
3. **torres Arenas, Raul Enrique.** *Diseño de base estabilizada con emulsión asfáltica catiónica, carretera Yauri - Desvío Livitaca (7 curvas) región Cusco.* Trujillo, Perú : Universidad Privada de Trujillo, 2019.
4. **ALIAGA REZZA, Fredy Richard; SORIANO OCHOA, Carlos Enrique.** *Análisis comparativo de estabilización con cemento portland y emulsion asfáltica en bases granulares.* Lima, Perú : Universidad Ricardo Palma, 2019.
5. **ORIHUELA SOLIER, Liz Mery.** *Adaptación de la normativa IS-1725 del ensayo de durabilidad para evaluar la adherencia en la mezcla asfáltica en caliente, Huancayo 2019.* Huancayo, Perú : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.
6. **Gómez Huanca, Christian Frank y Flores Pauro, René Heradio.** *Uso y aplicaciones de emulsiones asfálticas.* Moquegua, Perú : Universidad José Carlos Mariátegui, 2017.
7. **ROLANDO FRANCO, Freddy Erick.** *Estudio comparativo entre mezclas asfálticas con diluido RC-250 y emulsion.* Piura, Perú : Universidad de Piura, 2002.
8. **GRANADOS AZOFEIFA, Priscila.** *Estimación del tiempo adecuado de curado de la emulsión asfáltica CRS - 1 para iniciar el proceso de pavimentación de sobrecapas asfálticas en Costa Rica.* San Pedro, Costa Rica : Universidad de Costa Rica, 2021.
9. **ROJAS RUALES, Franco; ROMERO FLORES, Patricio; VINUEZA, César.** *Design methodology microsurfacing low-cost soil sandy organic silt (OL) type.* Ecuador : s.n., 2020, Revista Científica Universidad de las Fuerzas Armadas,, págs. 1-10.
10. **PABA MARTÍNEZ, Ivan José; VÁSQUEZ BOLAÑOS, Francisco.** *Desempeño de ligantes bituminosos utilizados como riegos de liga en carpetas de mezclas asfálticas, empleando la metodología del LCB.* bogota : revista Universidad Católica de Colombia, 2018, Revista Científica Universida Colombia, págs. 24- 26.
11. **SARMIENTO ÁLVAREZ, Lenin Alfonso.** *Análisis de la aplicación de bases estabilizadas con capa de protección asfáltica en los plazos, costos y calidad de construcción en la vía Pindal - Milagros - Paletillas y su impacto en la red terciaria de la provincia de Loja.* Loja, Ecuador : Universidad Técnica Particular de Loja, 2018.

12. **CORNEJO PÉREZ, José Mauricio.** *Análisis de la optimización del riego de liga en la colocación de carpeta asfáltica en caliente.* Ciudad Universitaria, El Salvador : Universidad De El Salvador, 2014.
13. **SAPEI, José; GONZÁLEZ, Rubén.** *Emulsiones de imprimación, su aporte en la adherencia.* 2014, Infraestructura vial, págs. 34 - 42.
14. **Ministerio de Transporte y Comunicaciones.** *Manual de carreteras - especificaciones técnicas generales para construcción.* Lima : Dirección Regional de Caminos y Ferrocarriles, 2013.
15. **Asphalt Institute.** *Principios de construcción de pavimentos de mezclas asfálticas en caliente.* USA : Serie de Manuales N.º 22.(CM-22), 1992.
16. **Petrobras.** *Recomendación de uso de emulsiones asfálticas.* Brasil : Petrobras Asfaltos, 2015.
17. **HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNANDEZ COLLADO, Carlos; BAPTISTA LUCIO, Pilar.** *Metodología de la investigación.* México : s.n., 2010.
18. **CALDERÓN Ulloa, Andrea** *Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio.* 2012, Metodos y materiales, págs. 18-23.
19. **ARAKAKI RENGIFO, Kimiko Katherine Harumi.** *Diseño de los pavimentos de la nueva carretera panamericana norte en el tramo de Huacho a Pativilca (km 188 a 189).* Lima : Universidad Católica del Perú, 2014.
20. **MARIÑO URIBE, Ricardo Jesús.** *Aeropuerto de Chinchero - Cusco : diseño y alternativas constructivas de los pavimentos del área de movimiento.* Lima : s.n., 2016.
21. **SÁNCHEZ MORALES, María Caridad.** *Proposal of new coefficients of equivalence for the design of flexible pavements,* marzo - diciembre de 2020, Revista de Arquitectura e Ingeniería, Vol. 14(1), págs. 1-10. ISSN: 1990-8830.
22. **ULLOA CALDERÓN, Andrea.** *Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio.* Costa Rica : s.n., 2012, Métodos y Materiales, Vol. 2, págs. 17-24.
23. **ROJAS RUALES, Franco; ROMERO FLORES, Patricio; VINUEZA, César.** *Design methodology microsurfacing low-cost soil sandy organic silt (OL) type.* 2020, revista científica Universidad de las Fuerzas Armadas,, págs. 1-10.
24. **ACÓN VILLALOBOS, Catherine, ARAYA MUÑOZ, Tatiana.** *Elaboración de una herramienta para construir proyectos de investigación.* Costa Rica : s.n., 2019.
25. **BELTRÁN CALVO, Gloria Inés; ROMO ORGANISTA, Miguel Pedro.** *Pavement evaluation and maintenance decisions based on fuzzy inference systems.* 3, Julio - Setiembre de 2014, Ingeniería Investigación y Tecnología, Vol. 15, págs. 391-402. ISSN 1405-7743 .
26. **CORTÉS CORTÉS, Manuel; IGLESIAS LEÓN, Miriam.** *Generalidades sobre metodología de la investigación.* México : s.n., 2004.

27. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; BAPTISTA LUCIO, Pilar.** *Metodología de investigación*. México : s.n., 1999.
28. **HIGUERA SANDOV, Carlos Hernando.** *Behavioral laws on the traction admissible radial's deformation for the flexible pavements*. 2007, *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, págs. 1-20.
29. **MINAYA, S.; ORDOÑEZ, A.** *Esfuerzos y deformaciones en el pavimento*. 2017, *Diseño moderno de pavimentos*, págs. 68 - 80.
30. **MONSALVE ESCOBAR, Lina Mercedes; GIRALDO VÁSQUEZ, Laura Cristina; MAYA GAVIRIA, Jessyca.** *Diseño de pavimento flexible y rígido*. Armenia : s.n., 2012.
31. **MORGADO GONZÁLEZ, Daniel Eduardo.** *Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito*. Santiago de Chile : s.n., 2018.
32. **Universidad Naval.** *Metodología de la Investigación*. México : s.n., 2018.
33. **VENTURA MOSTACERO, Erwin Paul.** *Mejoramiento del comportamiento estructural de pavimentos asfálticos de alto volumen de tránsito mediante procedimiento de rehabilitación con tecnologías modernas en la ciudad de Lima*. Lima, Perú : Universidad Nacional Federico Villareal, 2018.
34. **BRAVO; MACARENA, y otros.** *Especificaciones de ligantes modificados en Chile utilizando MSCR*. Arica, Chile : 13° Congreso internacional provial 2018, 2018.

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicadores	Método
	General					
¿Cuál es la efectividad mecánica del riego de liga en la interfaz del micropavimento y las bases estabilizadas constituidas con asfalto recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021?	Determinar la efectividad mecánica del riego de liga de la interfaz del micro pavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021.	La efectividad mecánica del riego de liga en la interfaz del micropavimento y bases estabilizadas varía según el tipo y dosificación del material asfáltico aplicado, Huancayo, 2021.	V1: Riego de liga	D1: Asfalto recortado D2: Emulsión Asfáltica D3: Condición de colocación	I1: MC – 30 I2: RC – 250 I3: Rotura rápida I1: Dosificación I2: Temperatura de aplicación I3: Tipo de ligante	Método: Se utiliza el método científico en la presente tesis porque se basa en la realización ensayos de laboratorio. Tipo: Aplicada porque se resolverá el problema planteado.
	Específicos					
¿Cuánto es el valor de la resistencia a la tracción indirecta en la interfaz del riego de liga del micro pavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021?	Establecer el valor de la resistencia a la tracción indirecta en la interfaz del riego de liga del micro pavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021.	La resistencia a la tracción indirecta en la interfaz del riego de liga del micro pavimento y las bases estabilizadas en climas templados varia positivamente al usar emulsión asfáltica respecto a asfaltos recortados, Huancayo, 2021.	V2: Efectividad Mecánica del riego de liga.	D1: Resistencia a la tracción indirecta D2: Resistencia al corte D3: Resistencia a la erosión	I1: Asfalto recortado I2: Emulsión asfáltica I3: Tracción del molde de micropavimento y base estabilizada	Nivel: Explicativo por que se observara el efecto que causa el riego de liga con tipos de asfaltos en la interfaz del micro pavimento y base estabilizada.
¿Cuál es el valor de la resistencia al corte en la interfaz del riego de liga del micro pavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y	Calcular las resistencias al corte en la interfaz del riego de liga del micro pavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y	La resistencia al corte en la interfaz del riego de liga del micro pavimento y las bases estabilizadas en climas templados varia positivamente al usar emulsión			I1: Asfalto recortado I2: Emulsión asfáltica	Diseño: El diseño es cuasiexperimental porque se realizará ensayos de laboratorio y se modificará deliberadamente

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensión	Indicadores	Método
emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021?	emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021.	asfáltica respecto a asfaltos recortados, Huancayo, 2021.			I3: Corte del molde de micropavimento y base estabilizada	una de las variables.
¿Cuál es el valor de la resistencia a la erosión del riego de liga del micro pavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021?	Estimar la resistencia a la erosión en la interfaz del riego de liga del micro pavimento y las bases estabilizadas, constituidos con asfaltos recortados y emulsiones asfálticas en climas templados, Huancayo, 2021.	La resistencia a la erosión en la interfaz del riego de liga del micro pavimento y las bases estabilizadas en climas templados varía positivamente al usar emulsión asfáltica respecto a asfaltos recortados, Huancayo, 2021.			I1: Asfalto recortado I2: Emulsión Asfáltica I3: Nivel de erosión del molde de micropavimento y base estabilizada	Población: Está conformado por 90 briquetas con capas de micropavimento y base estabilizada. Muestra: La muestra es igual a la población, 90 briquetas sometidos a ensayo Lottman, de corte y erosión.

Anexo 2

Certificados de laboratorio

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - GOLDFIX



PROYECTO: MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORRADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV TEMPERATURA AMBIENTE: 18°C

CODIGO

CF-0234-CORTE

FECHA 22/09/2021

ENSAYO ENSSAYO DE CORTE

MIUESTRA	NUMERO	DOSIFICACIÓN (lt/m ²)	RESISTENCIA AL CORTE (KG)	RC 250	MC-30	EMULSION ASFALTICA CSS 1h
M-01	1	0.20	CORTE	93.45	75	47.2
M-02	2	0.20	CORTE	103.15	79.7	54.9
M-03	3	0.20	CORTE	89.55	69.4	41.4
M-04	1	0.50	CORTE	151.72	124.3	56.1
M-05	2	0.50	CORTE	160.42	133.6	59.9
M-06	3	0.50	CORTE	147.22	118.1	52
M-07	1	1.00	CORTE	84.56	117.1	68.43
M-08	2	1.00	CORTE	91.16	125.7	77.23
M-09	3	1.00	CORTE	80.76	111.5	66.03
M-10	1	1.50	CORTE	71.34	80.4	64.1
M-11	2	1.50	CORTE	80.44	86.7	72.4
M-12	3	1.50	CORTE	67.04	77	57.8
M-13	1	2.00	CORTE	72.89	78.3	42.1
M-14	2	2.00	CORTE	76.49	87.9	47.7
M-15	3	2.00	CORTE	66.49	72	38.2
M-16	1	2.50	CORTE	67.22	75.4	45.4
M-17	2	2.50	CORTE	75.62	79.1	59.2
M-18	3	2.50	CORTE	63.72	70.5	36.8


Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 GOLDFIX E.I.R.L


Julio Adrian Rojas Palma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 GOLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - COLDFIX



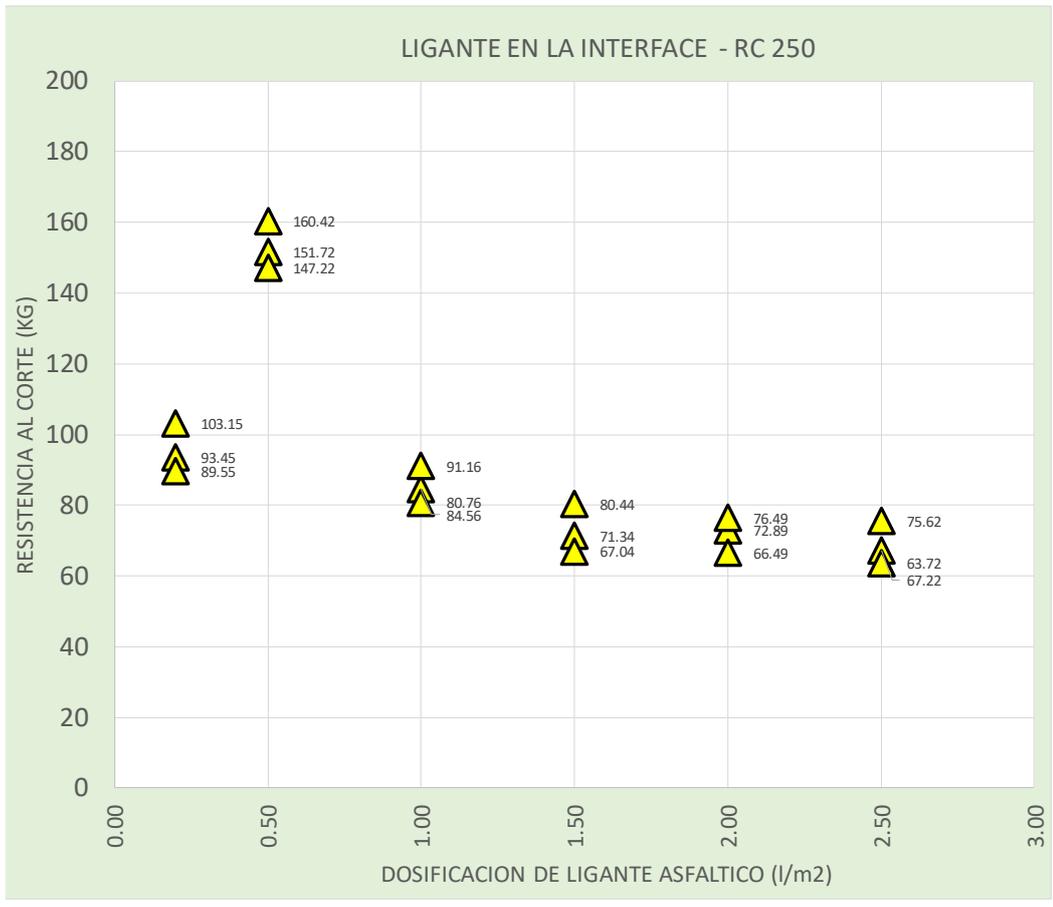
PROYECTO: MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORRADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV **TEMPERATURA AMBIENTE:** **18°C**

CODIGO: **CF-0234-CORTE**

FECHA: 22/09/2021 **ENSAYO:** ENSAYO DE CORTE




Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - COLDFIX



PROYECTO: MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

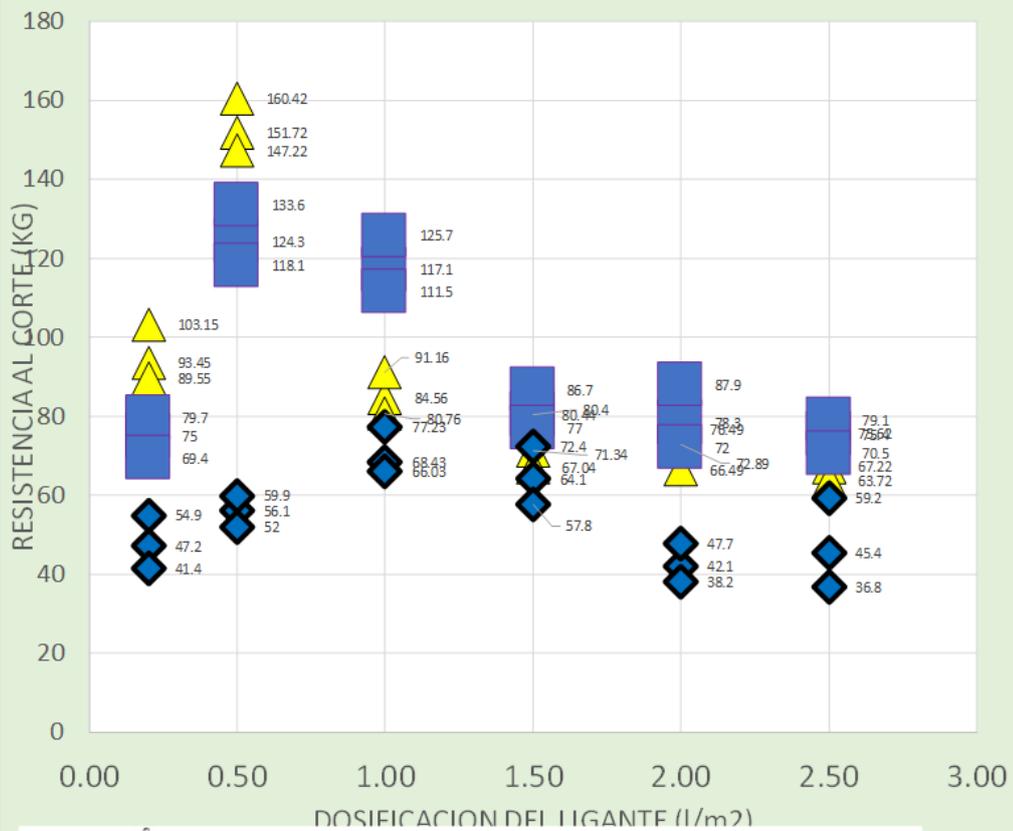
CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV **TEMPERATURA AMBIENTE:** 18°C

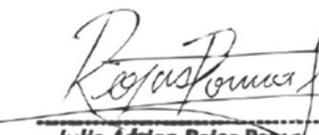
CODIGO: **CF-0234-CORTE**

FECHA: 22/09/2021 **ENSAYO:** ENSAYO DE CORTE

GRAFICA RESUMEN DE RESISTENCIA AL CORTE




Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TECNICO DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - COLDFIX



PROYECTO: MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma García, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV **TEMPERATURA AMBIENTE:** **18°C**

CODIGO

CF-0235-LOTTMAN

FECHA 22/09/2021

ENSAYO ENSSAYO DE LOTTMAN

MIUESTRA	NUMERO	DOSIFICACIÓN (lt/m ²)	RESISTENCIA AL CORTE (KG)	RC 250	MC-30	EMULSION ASFALTICA CSS 1h
M-01	1	0.20	CORTE	240.8	208.5	129.6
M-02	2	0.20	CORTE	249.4	215.2	137.2
M-03	3	0.20	CORTE	239.7	206.1	122.2
M-04	1	0.50	CORTE	290.5	262.45	134.2
M-05	2	0.50	CORTE	299.7	265.75	140.6
M-06	3	0.50	CORTE	288.6	255.25	131.5
M-07	1	1.00	CORTE	304.78	240.12	131.23
M-08	2	1.00	CORTE	309.28	244.72	136.43
M-09	3	1.00	CORTE	304.58	231.22	124.03
M-10	1	1.50	CORTE	272.56	213.56	114.5
M-11	2	1.50	CORTE	277.96	222.96	119
M-12	3	1.50	CORTE	271.86	209.16	107.8
M-13	1	2.00	CORTE	264.32	205.4	104.2
M-14	2	2.00	CORTE	273.22	210.5	107.3
M-15	3	2.00	CORTE	257.92	200	99.9
M-16	1	2.50	CORTE	234.45	180.6	88.5
M-17	2	2.50	CORTE	237.65	188.4	95.4
M-18	3	2.50	CORTE	228.55	177.5	84.3


Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - COLDFIX



PROYECTO: MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORRADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV **TEMPERATURA AMBIENTE:** **18°C**

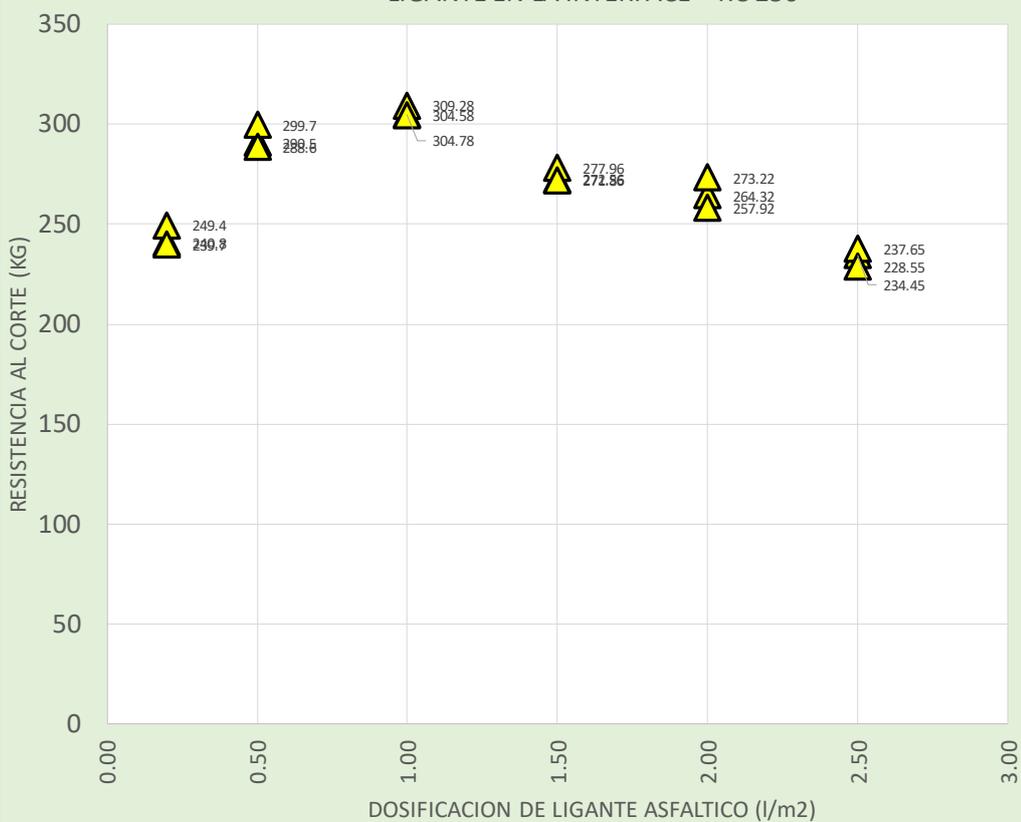
CODIGO

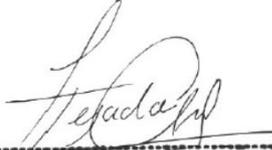
CF-0235-LOTTMAN

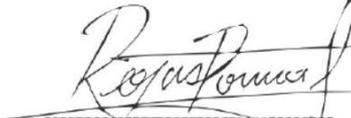
FECHA 22/09/2021

ENSAYO ENSAYO DE LOTTMAN

LIGANTE EN LA INTERFACE - RC 250




Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - COLDFIX



PROYECTO: MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV **TEMPERATURA AMBIENTE:** **18°C**

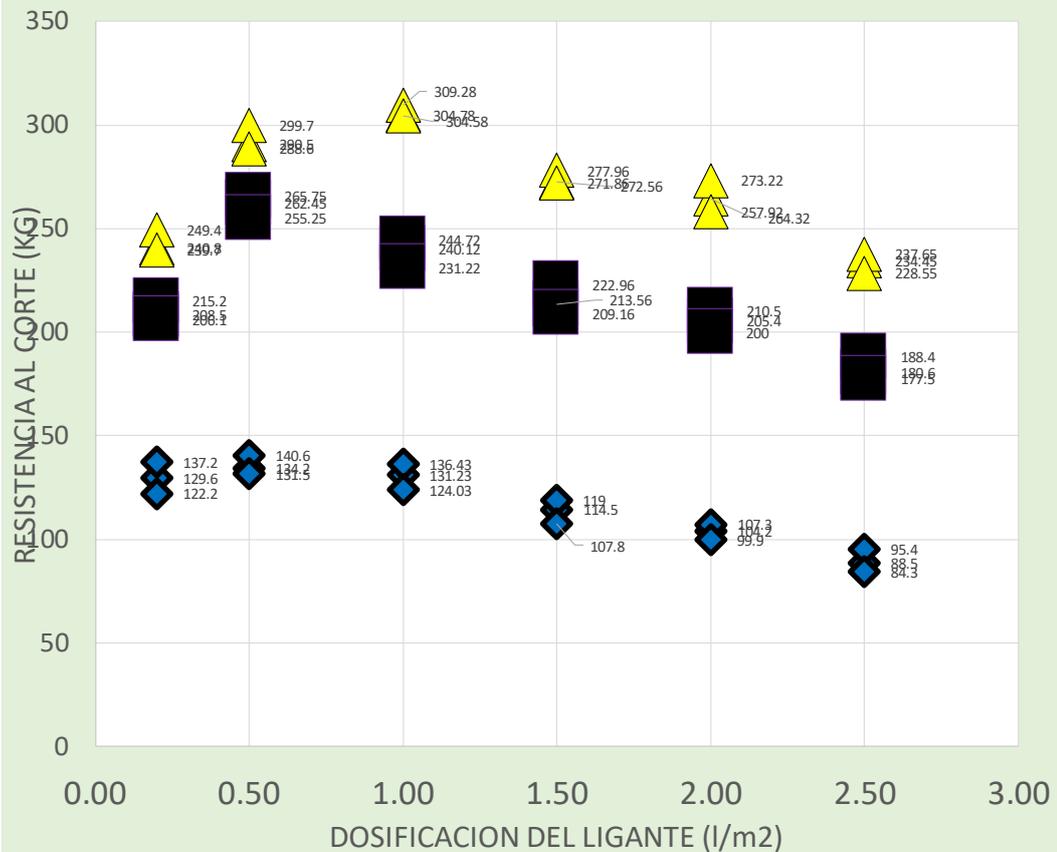
CODIGO

CF-0235-LOTTMAN

FECHA 22/09/2021

ENSAYO ENSAYO DE LOTTMAN

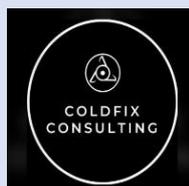
GRAFICA RESUMEN DE RESISTENCIA AL CORTE




Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - GOLDFIX



PROYECTO: INTERFAZ DEL MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV **TEMPERATURA AMBIENTE:** 18°C

CODIGO

CF-0236-EROSION

FECHA 22/09/2021

ENSAYO ENSSAYO DE CHORRO-EMULSION

MUESTRA	ESPESOR DE LA BASE	ESPESOR Del TSM	DOSIFICACION	Dimension del molde	W BASE (gr)	W BASE + W micro (SECO SIN EROSION) (gr)	W MICROPAV	W BASE + W TSM (SECO CON EROSION) (gr)	Perdida de peso (%)	profundidad maxima de erosion (mm)
M 01	5.00	1.88	0.20	Φ 4 PULG	1194	1550	355	1178.984	23.92%	2.76
M 02	5.00	1.88	0.20	Φ 4 PULG	1192	1547	355	1181.589	23.63%	2.65
M 03	5.00	1.88	0.20	Φ 4 PULG	1199	1555	356	1187.675	23.63%	2.51
M 04	5.00	1.88	0.50	Φ 4 PULG	1190	1545	355	1173.194	24.06%	2.44
M 05	5.00	1.88	0.50	Φ 4 PULG	1190	1546	355	1181.503	23.55%	2.49
M 06	5.00	1.88	0.50	Φ 4 PULG	1201	1556	355	1186.971	23.71%	2.76
M 07	5.00	1.88	1.00	Φ 4 PULG	1191	1546	356	1174.392	24.05%	2.53
M 08	5.00	1.88	1.00	Φ 4 PULG	1192	1548	356	1174.198	24.13%	2.72
M 09	5.00	1.88	1.00	Φ 4 PULG	1192	1547	355	1181.998	23.59%	2.44
M 10	5.00	1.88	1.50	Φ 4 PULG	1191	1547	356	1182.292	23.55%	2.51
M 11	5.00	1.88	1.50	Φ 4 PULG	1197	1552	355	1182.183	23.82%	2.63
M 12	5.00	1.88	1.50	Φ 4 PULG	1190	1546	356	1173.394	24.08%	2.72
M 13	5.00	1.88	2.00	Φ 4 PULG	1203	1558	356	1188.268	23.75%	2.63
M 14	5.00	1.88	2.00	Φ 4 PULG	1191	1546	356	1172.101	24.20%	2.65
M 15	5.00	1.88	2.00	Φ 4 PULG	1192	1547	355	1176.290	23.96%	2.46
M 16	5.00	1.88	2.50	Φ 4 PULG	1190	1545	355	1178.294	23.72%	2.61
M 17	5.00	1.88	2.50	Φ 4 PULG	1199	1554	355	1186.977	23.61%	2.41
M 18	5.00	1.88	2.50	Φ 4 PULG	1194	1549	355	1176.391	24.07%	2.74


Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 GOLDFIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 GOLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - GOLDFIX



PROYECTO: INTERFAZ DEL MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV **TEMPERATURA AMBIENTE:** 18°C

CODIGO:
CF-0236-EROSION

FECHA: 22/09/2021

ENSAYO: ENSSAYO DE CHORRO-EMULSION

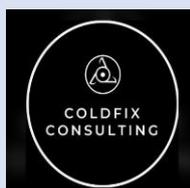
Perdida de peso de la muestra en el ensayo de erosión (%) vs porcnetaje de ligante(RC 250)



Juan Ernesto Tejada Diaz
Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 GOLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
Julio Adrian Rojas Poma
 TECNICO DE LABORATORIO
 GOLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - COLDFIX



CODIGO

CF-0237-EROSION

PROYECTO: INTERFAZ DEL MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS,
CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS
EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

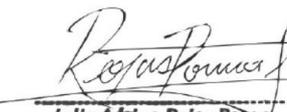
CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce,
Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV TEMPERATURA AMBIENTE: **18°C**

FECHA: 22/09/2021 ENSAYO: ENSAYO DE CHORRO-
EMULSION

MUESTRA	ESPEJOR DE LA BASE	ESPEJOR Del TSM	DOSIFICACION	Dimension del molde	W BASE (gr)	W BASE + W micro (SECO SIN EROSION) (gr)	W MICROPAV	W BASE + W TSM (SECO CON EROSION) (gr)	Perdida de peso (%)	profundidad maxima de erosion (mm)
M 01	5.00	1.88	0.20	Φ 4 PULG	1194	1550	355	1179.790	23.87%	2.78
M 02	5.00	1.88	0.20	Φ 4 PULG	1194	1549	355	1176.292	24.07%	2.69
M 03	5.00	1.88	0.20	Φ 4 PULG	1196	1552	356	1182.186	23.81%	2.46
M 04	5.00	1.88	0.50	Φ 4 PULG	1193	1548	355	1169.394	24.47%	2.62
M 05	5.00	1.88	0.50	Φ 4 PULG	1193	1548	355	1169.195	24.46%	2.56
M 06	5.00	1.88	0.50	Φ 4 PULG	1204	1560	355	1189.064	23.76%	2.77
M 07	5.00	1.88	1.00	Φ 4 PULG	1194	1550	356	1173.491	24.27%	2.65
M 08	5.00	1.88	1.00	Φ 4 PULG	1191	1546	355	1169.101	24.37%	2.41
M 09	5.00	1.88	1.00	Φ 4 PULG	1194	1550	355	1181.785	23.74%	2.52
M 10	5.00	1.88	1.50	Φ 4 PULG	1192	1547	356	1169.098	24.45%	2.69
M 11	5.00	1.88	1.50	Φ 4 PULG	1197	1552	356	1176.183	24.23%	2.62
M 12	5.00	1.88	1.50	Φ 4 PULG	1192	1548	356	1178.589	23.84%	2.72
M 13	5.00	1.88	2.00	Φ 4 PULG	1201	1556	355	1188.471	23.64%	2.44
M 14	5.00	1.88	2.00	Φ 4 PULG	1190	1546	356	1175.603	23.95%	2.69
M 15	5.00	1.88	2.00	Φ 4 PULG	1192	1547	356	1175.998	23.99%	2.68
M 16	5.00	1.88	2.50	Φ 4 PULG	1192	1548	356	1169.896	24.44%	2.56
M 17	5.00	1.88	2.50	Φ 4 PULG	1199	1554	355	1179.977	24.07%	2.56
M 18	5.00	1.88	2.50	Φ 4 PULG	1194	1549	355	1175.491	24.13%	2.42


Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TECNICO DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - COLDFIX



CODIGO

CF-0237-EROSION

PROYECTO: INTERFAZ DEL MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

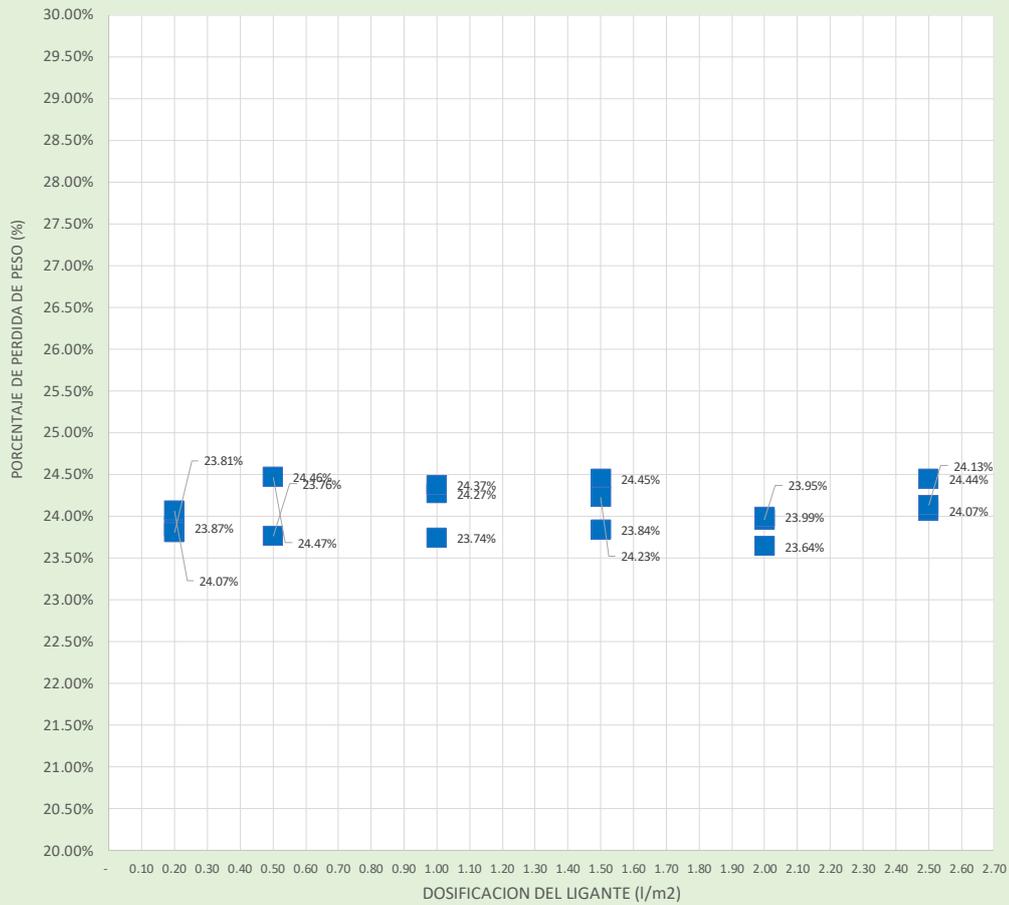
MATERIAL: MICRO PAV

TEMPERATURA AMBIENTE: **18°C**

FECHA: 22/09/2021

ENSAYO: ENSAYO DE CHORRO-EMULSION

Perdida de peso de la muestra en el ensayo de erosión (%) vs porcentaje de ligante(MC30)



Juan Ernesto Tejada Díaz
Juan Ernesto Tejada Díaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - COLDFIX



PROYECTO: INTERFAZ DEL MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS,
CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS
EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce,
Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV **TEMPERATURA AMBIENTE:** **18°C**

CODIGO

CF-0238-EROSION

FECHA: 22/09/2021

ENSAYO: ENSAYO DE CHORRO-
EMULSION

MUESTRA	ESPEJOR DE LA BASE	ESPEJOR Del TSM	DOISIFICACION	Dimension del molde	W BASE (gr)	W BASE + W micro (SECO SIN EROSION) (gr)	W MICROPAV	W BASE + W TSM (SECO CON EROSION) (gr)	Perdida de peso (%)	profundidad maxima de erosion (mm)
M 01	5.00	1.88	0.20	Φ 4 PULG	1194	1550	356	1118.790	27.82%	2.71
M 02	5.00	1.88	0.20	Φ 4 PULG	1193	1548	355	1124.487	27.36%	2.54
M 03	5.00	1.88	0.20	Φ 4 PULG	1199	1554	355	1120.775	27.90%	2.69
M 04	5.00	1.88	0.50	Φ 4 PULG	1189	1545	355	1108.094	28.26%	2.52
M 05	5.00	1.88	0.50	Φ 4 PULG	1193	1548	355	1114.687	28.01%	2.47
M 06	5.00	1.88	0.50	Φ 4 PULG	1205	1560	355	1125.364	27.86%	2.72
M 07	5.00	1.88	1.00	Φ 4 PULG	1191	1546	355	1125.500	27.21%	2.75
M 08	5.00	1.88	1.00	Φ 4 PULG	1193	1548	356	1111.188	28.23%	2.78
M 09	5.00	1.88	1.00	Φ 4 PULG	1193	1549	356	1117.295	27.85%	2.76
M 10	5.00	1.88	1.50	Φ 4 PULG	1192	1548	355	1125.896	27.25%	2.68
M 11	5.00	1.88	1.50	Φ 4 PULG	1198	1553	356	1128.080	27.38%	2.72
M 12	5.00	1.88	1.50	Φ 4 PULG	1189	1545	356	1107.094	28.35%	2.51
M 13	5.00	1.88	2.00	Φ 4 PULG	1201	1556	356	1128.172	27.50%	2.54
M 14	5.00	1.88	2.00	Φ 4 PULG	1192	1548	356	1108.597	28.38%	2.71
M 15	5.00	1.88	2.00	Φ 4 PULG	1193	1549	356	1121.195	27.60%	2.72
M 16	5.00	1.88	2.50	Φ 4 PULG	1191	1546	356	1120.001	27.56%	2.67
M 17	5.00	1.88	2.50	Φ 4 PULG	1203	1558	356	1123.467	27.91%	2.66
M 18	5.00	1.88	2.50	Φ 4 PULG	1194	1549	355	1122.491	27.55%	2.79


Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.


Julio Adrian Rojas Poma
 TÉCNICO DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - COLDFIX



PROYECTO: INTERFAZ DEL MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV **TEMPERATURA AMBIENTE:** 18°C

CODIGO:
CF-0238-EROSION

FECHA: 22/09/2021

ENSAYO: ENSAYO DE CHORRO-EMULSION

Perdida de peso de la muestra en el ensayo de erosión (%) vs porcentaje de ligante(EMULSION CSS 1h)



Juan Ernesto Tejada Diaz
Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
Julio Adrian Rojas Poma
 TECNICO DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE CONCRETO, SUELOS Y PAVIMENTOS - COLDFIX



PROYECTO: INTERFAZ DEL MICRO PAVIMENTO Y BASES ESTABILIZADAS, CONSTITUIDOS CON ASFALTOS RECORTADOS Y EMULSIONES ASFÁLTICAS EN CLIMAS TEMPLADOS - HUANCAYO 2021

CLIENTE: BACH. ING. Angoma Garcia, Stefani Kinverlin / BACH.ING. Mercado Ponce, Angel Amador

MATERIAL: MICRO PAV TEMPERATURA AMBIENTE: 18°C

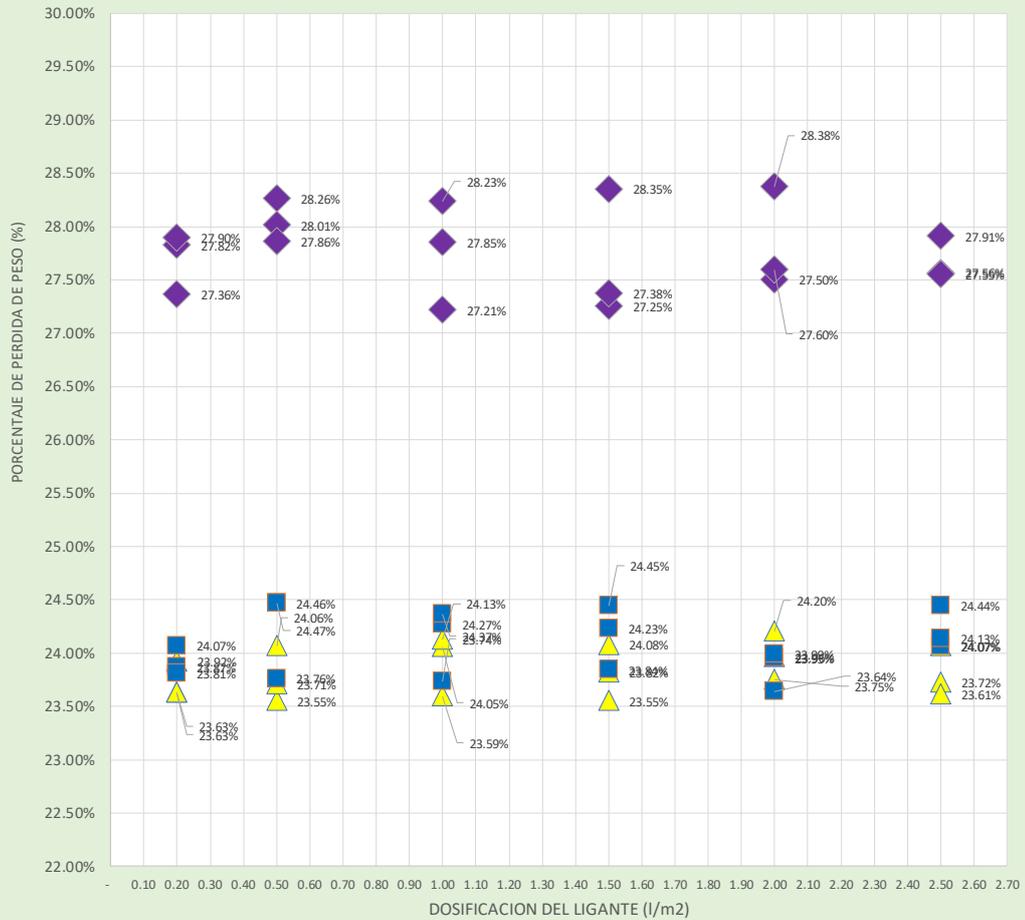
CODIGO: CF-0236-EROSION

FECHA: 22/09/2021

ENSAYO: ENSAYO DE CHORRO-EMULSION

GRAFICO RESUMEN

Perdida de peso de la muestra en el ensayo de erosión (%) vs porcentaje de ligante(RC 250/MC30 / EMULSION)



Juan Ernesto Tejada Diaz
Juan Ernesto Tejada Diaz
 JEFE DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
Julio Adrian Rojas Poma
 TECNICO DE LABORATORIO
 COLDFIX E.I.R.L.

Anexo 3
Panel fotográfico



Preparación de material para base estabilizada



Preparación de material para base estabilizada



Preparación de material para base estabilizada



Preparación de material para base estabilizada



Preparación de material para micro pavimento



Preparación de la imprimación y capa micro pavimento



Ensayo de resistencia la corte



Ensayo de resistencia la corte



Ensayo de resistencia la corte



Ensayo de resistencia la corte



Ensayo de tracción indirecta de Lotmann



Ensayo de tracción indirecta de Lotmann



Ensayo de tracción indirecta de Lotmann



Ensayo de resistencia la erosión