



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Comportamiento de un Slurry Seal con la inclusión
de fibra de vidrio

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Maza Acat, Guillermo Alonso
ORCID: 0000-0001-5972-2065

Vivas Espinoza, Renzo Edgar
ORCID: 0000-0002-5394-393X

ASESOR

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo
ORCID: 0000-0002-7722-8711

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Maza Acat, Guillermo Alonso

DNI: 71237643

Vivas Espinoza, Renzo Edgar

DNI: 75860001

Datos de asesor

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

Datos del jurado

JURADO 1

Tamara Rodríguez, Joaquín Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

JURADO 2

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio

DNI: 04434662

ORCID: 0000-0002-2518-8201

JURADO 3

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia, quienes siempre me han apoyado en todo momento y me han impulsado para cumplir mis metas, y a todos mis amigos, quienes estuvieron para mí brindándome consejos y ayuda en estos 5 años de estudio.

Maza Acat, Guillermo Alonso

Dedico esta tesis a mi familia, quienes me han guiado y apoyado en todo momento de mi vida para poder alcanzar mis metas. A mis amigos, que siempre me brindaron su apoyo y con quienes compartí buenos momentos, risas, alegrías y consejos en estos 5 años de estudio.

Vivas Espinoza, Renzo Edgar

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, quienes día a día nos brindan todo su apoyo y amor; a nuestros amigos, quienes se convirtieron en familia y siempre nos instan a seguir adelante; a nuestra alma máter, por la excelente formación académica; a los ingenieros Néstor Huamán Guerrero y Joaquín Támara Rodríguez, por las asesorías brindadas; al ingeniero Reyson Huari Quispe, colega y amigo, quien nos brindó todo su apoyo durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Maza Acat, Guillermo Alonso

Vivas Espinoza, Renzo Edgar

ÍNDICE GENERAL

L

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Formulación y delimitación del problema.....	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.2. Problema general.....	2
1.1.3. Problemas específicos.....	3
1.2. Objetivo general y específico.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Importancia y justificación del estudio.....	4
1.3.1. Importancia.....	4
1.3.2. Justificación.....	4
1.4. Delimitación de la investigación.....	6
1.5. Limitaciones del estudio.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes del estudio de la investigación.....	7
2.2. Investigaciones relacionadas.....	8
2.2.1. Investigaciones internacionales.....	8
2.2.2. Investigaciones Nacionales.....	15
2.3. Estructura Teórica.....	19
2.3.1. Pavimento.....	19
2.3.2. Pavimento flexible.....	20
2.3.3. Asfaltos.....	22
2.3.4. Emulsión asfáltica.....	26
2.3.5. Elaboración de emulsión asfáltica en laboratorio.....	38
2.3.6. Agregados.....	41
2.3.7. Fibra de vidrio.....	45
2.3.8. Slurry Seal.....	47

2.4. Definición de términos básicos.....	54
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	56
3.1. Hipótesis.....	56
3.1.1. Hipótesis general.....	56
3.1.2. Hipótesis específicas.....	56
3.2. Relación de variables.....	56
3.2.1. Identificación de variables.....	56
3.2.2. Operacionalización de las variables.....	56
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	57
4.1. Tipo de investigación.....	57
4.2. Método de investigación.....	57
4.3. Nivel de investigación.....	58
4.4. Diseño de investigación.....	58
4.5. Población de estudio.....	59
4.6. Diseño muestral.....	59
4.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	59
4.7.1. Técnica de recolección de datos.....	59
4.7.2. Instrumentos de recolección de datos.....	60
4.8. Procedimientos para la recolección de datos.....	60
4.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	61
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	62
5.1. Desarrollo de la investigación.....	62
5.1.1. Ensayos para la caracterización del agregado.....	62
5.1.2. Ensayos a la emulsión asfáltica.....	66
5.1.3. Características de la fibra de vidrio.....	70
5.1.4. Diseño de Slurry Seal.....	70
5.2. Resultados de la investigación.....	75
5.2.1. Resultados de la caracterización de agregados.....	75
5.2.2. Resultados de los ensayos a la emulsión asfáltica.....	79
5.2.3. Resultados del diseño de mezcla de Slurry Seal convencional.....	79
5.2.4. Resultados del diseño de mezcla de Slurry Seal con fibra de vidrio.....	85

5.3. Análisis comparativo de las muestras de Slurry Seal.....	89
5.3.1. Comparación y análisis del ensayo Wet Track Abrasion Test.....	89
5.3.2. Comparación y análisis del ensayo Loaded Wheel Test.....	90
5.3.3. Comparación del contenido óptimo de emulsión asfáltica.....	91
5.3.4. Comparación y análisis del ensayo de cohesión.....	92
5.4. Contratación de hipótesis.....	92
5.4.1. Hipótesis específica 1:.....	92
5.4.2. Hipótesis específica 2:.....	93
5.4.3. Hipótesis específica 3:.....	93
5.4.4. Hipótesis específica 4:.....	94
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES.....	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Granulometría de la muestra de agregado.....	76
Tabla N° 2: Resultados de equivalente de arena.....	77
Tabla N° 3: Resultados de azul de metileno.....	77
Tabla N° 4: Resultados de la adherencia Riedel - Webber.....	78
Tabla N° 5: Resumen de ensayos a agregados.....	78
Tabla N° 6: Resumen de ensayos a la emulsión asfáltica.....	79
Tabla N° 7: Resumen de ensayos al residuo asfáltico.....	79
Tabla N° 8: Tiempo de mezclado.....	80
Tabla N° 9: Consistencia al Slurry Seal convencional.....	80
Tabla N° 10: Decapado en húmedo de Slurry Seal convencional.....	81
Tabla N° 11: Wet Track Abrasion Test de Slurry Seal convencional.....	82
Tabla N° 12: Loaded Wheel Test del Slurry Seal convencional.....	83
Tabla N° 13: Ensayo de cohesión del Slurry Seal convencional.....	84
Tabla N° 14: Tiempo de mezclado de Slurry Seal con fibra de vidrio.....	85
Tabla N° 15: Consistencia de Slurry Seal con fibra de vidrio.....	85
Tabla N° 16: Decapado en húmedo del Slurry Seal con fibra de vidrio.....	86
Tabla N° 17: Wet Track Abrasion Test de Slurry Seal con fibra de vidrio.....	86
Tabla N° 18: Loaded Wheel Test de Slurry Seal con fibra de vidrio.....	87
Tabla N° 19: Resultados de la cohesión de Slurry Seal con fibra de vidrio.....	88
Tabla N° 20: Resultados de WTAT de ambas muestras.....	89
Tabla N° 21: Resultados de L.W.T. de ambas muestras.....	90
Tabla N° 22: Contenidos óptimos de ambas muestras de Slurry Seal.....	91
Tabla N° 23: Resultados de la cohesión de ambas muestras.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de un pavimento asfáltico sobre la subrasante.....	20
Figura 2: Capa de Slurry Seal sobre base estabilizada.....	22
Figura 3: Susceptibilidad térmica del asfalto.....	23
Figura 4: Comportamiento de los cuerpos frente a la aplicación de una carga.....	25
Figura 5: Esquema del comportamiento viscoelástico del asfalto.....	26
Figura 6: Mecanismo de una emulsión.....	27
Figura 7: Componentes de una emulsión asfáltica.....	29
Figura 8: Especificaciones técnicas para emulsión asfáltica catiónica.....	30
Figura 9: Nomenclatura de una emulsión asfáltica.....	30
Figura 10: Proceso de rotura de una emulsión asfáltica.....	31
Figura 11: Etapas del rompimiento de la emulsión asfáltica.....	32
Figura 12: Aplicación de las emulsiones asfálticas.....	36
Figura 13: Especificaciones técnicas de una emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros.....	38
Figura 14: Nomenclatura de emulsiones asfálticas modificadas con polímeros.....	38
Figura 15: Rangos de dosificación de una emulsión asfáltica.....	39
Figura 16: Elaboración de una emulsión asfáltica en laboratorio.....	41
Figura 17: Huso granulométrico para el Slurry Seal.....	41
Figura 18: Agregado cúbico.....	42
Figura 19: Agregado redondeado.....	43
Figura 20: Requerimientos del agregado para Slurry Seal.....	44
Figura 21: Fibra de vidrio.....	46
Figura 22: Inyección de fibra de vidrio.....	47
Figura 23: Especificaciones del Slurry Seal.....	50
Figura 24: Ensayo de Abrasión Vía Húmeda.....	51
Figura 25: Ensayo de Rueda Cargada.....	52

Figura 26: Pavimento flexible con fisuras en la carpeta de rodadura.....	53
Figura 27: Pavimento flexible con Slurry Seal como tratamiento de superficie.....	53
Figura 28: Estructura de un pavimento económico.....	54
Figura 29: Tamices para realizar el análisis granulométrico.....	62
Figura 30: Ensayo de equivalente de arena.....	63
Figura 31: Ensayo de azul de metileno.....	64
Figura 32: Prueba de coloración de azul de metileno.....	65
Figura 33: Ensayo de Riedel - Weber.....	66
Figura 34: Viscosímetro.....	66
Figura 35: Ensayo de carga de partícula.....	67
Figura 36: Ensayo de punto de ablandamiento.....	69
Figura 37: Ductilómetro.....	70
Figura 38: Ensayo de consistencia.....	71
Figura 39: Ensayo de decapado en húmedo.....	72
Figura 40: Secado de muestra.....	72
Figura 41: Muestras para el ensayo de WTAT.....	73
Figura 42: Máquina de ensayo de abrasión en húmedo.....	73
Figura 43: Máquina de ensayo de rueda cargada.....	74
Figura 44: Arena adherida a las muestras de Slurry Seal.....	75
Figura 45: Cohesímetro.....	75
Figura 46: Curva granulométrica.....	76
Figura 47: Curva de consistencia de Slurry Seal convencional.....	81
Figura 48: Curva de abrasión en húmedo de Slurry Seal convencional.....	82
Figura 49: Curva de Loaded Wheel Test de Slurry Seal convencional.....	83
Figura 50: Curva de obtención de contenido óptimo de emulsión asfáltica del Slurry Seal convencional.....	84
Figura 51: Curva de cohesión de Slurry Seal convencional.....	85
Figura 52: Curva de consistencia de Slurry Seal con fibra de vidrio.....	86
Figura 53: Curva de WTAT de Slurry Seal con fibra de vidrio.....	87
Figura 54: Curva de Loaded Wheel Test con fibra de vidrio.....	87

Figura 55: Curva de obtención de contenido óptimo de emulsión asfáltica de Slurry Seal con fibra de vidrio.....	88
Figura 56: Curva de ensayo de cohesión de Slurry Seal con fibra de vidrio.....	89

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se analizó la influencia de la fibra de vidrio en un Slurry Seal. Para ello, se evaluó su comportamiento frente a la abrasión vía húmeda o desgaste, exudación. Además, se realizó comparaciones en lo que respecta a tiempo de apertura al tráfico y contenido óptimo de emulsión asfáltica para ambos diseños.

Se inició realizando la caracterización de agregados, siempre verificando que los resultados obtenidos cumplan con las especificaciones pactadas en las EG 2013 del MTC. Posteriormente, tomando en cuenta el tipo de agregado, se realizó la formulación de la emulsión asfáltica, la cual para un Slurry Seal debe ser necesariamente de rotura lenta, a fin de poder asegurar el correcto mezclado. Finalmente, se realizó dos diseños teóricos de Slurry Seal, una convencional y otra con inclusión de fibra de vidrio, apoyándonos en base a experiencias pasadas y verificando con laboratorio.

Como resultados, se observó que la inclusión de fibra de vidrio mejoró notablemente el comportamiento de un Slurry Seal frente a la abrasión vía húmeda, y también frente a la exudación. De tal forma, al momento de obtener el óptimo contenido de emulsión asfáltica para la mezcla con fibra de vidrio, esta disminuyó, haciendo una mezcla menos susceptible a deformarse y más económica. Sin embargo, no se observó mejoras en lo que respecta al tiempo de apertura al tráfico, la cual generalmente se puede lograr con aditivos controladores de rotura durante la formulación de la emulsión asfáltica.

Palabras clave: Slurry Seal, Fibra de vidrio, desgaste, exudación, cohesión

ABSTRACT

In the present research work, the influence of fiberglass on a Slurry Seal was analyzed. To do this, its behavior against abrasion wet or wear, exudation was evaluated. In addition, comparisons were made in terms of traffic opening time and optimal asphalt emulsion content for both designs.

It began with the characterization of aggregates, always verifying that the results obtained comply with the specifications agreed in the EG 2013 of the MTC. Subsequently, taking into account the type of aggregate, the formulation of the asphalt emulsion was carried out, which for a Slurry Seal must necessarily be slow breaking, in order to ensure the correct mixing. Finally, two theoretical designs of Slurry Seal were made, one conventional and one with fiberglass inclusion, supporting us based on past experiences and verifying with the laboratory.

As a result, it was observed that the inclusion of fiberglass significantly improved the behavior of a Slurry Seal against wet abrasion, and also against exudation. In this way, at the moment of obtaining the optimal asphalt emulsion content for the mixture with fiberglass, this decreased, making a mixture less susceptible to deformation and more economical. However, no improvements were observed in terms of traffic opening time, which can usually be achieved with breakage controlling additives during the formulation of the asphalt emulsion.

Keywords: Slurry Seal, fiberglass, abrasion, exudation, cohesion

INTRODUCCIÓN

El Slurry Seal, conocido también como mortero asfáltico, es una solución aplicada para el mantenimiento y mejoramiento de carreteras, o también como protección de bases granulares y/o estabilizadas, la cual es muy utilizada en nuestro país.

Últimamente, se tiene un mayor incremento de tráfico en las principales vías de nuestro país, generando un daño mayor al pavimento. Esto también implica que, si en caso haya sido aplicado un tratamiento de superficie tales como Slurry Seal o Micropavimento sobre la carpeta asfáltica dañada, para su mantenimiento, pueda deteriorarse de manera más prematura, con lo cual va a generar actividades para su corrección, implicando un mayor gasto que lo previsto inicialmente.

En nuestro país, se tienen muchas vías que requieren una intervención de mantenimiento y con lo cual dificulta mucho el paso de los vehículos, afectando actividades económicas o de turismo debido a la inaccesibilidad hacia algunos pueblos. De la misma forma, se tienen varios tramos sin pavimentar, con lo cual, muchos usuarios no sienten un adecuado confort al transitar.

En nuestro medio, no se tiene mucha investigación o aplicación sobre tratamientos de superficie con alguna adición dentro de su composición, ya sea con algún tipo de aditivo, filler o material reciclado (RAP), mientras que para la tecnología en caliente se cuenta con avances significativos de mezclas asfálticas modificadas, con los cuales mejoran su comportamiento mecánico y desempeño. Es por ello que nace el presente trabajo de investigación, el poder evaluar el comportamiento de un Slurry Seal con adición de fibra de vidrio y alentar futuras investigaciones para la tecnología en frío.

El presente trabajo de investigación se centrará en evaluar el comportamiento de un Slurry Seal con adición de fibra de vidrio y compararlo con un Slurry Seal convencional. Para ello, se evaluará y analizará el comportamiento de ambas muestras frente a la abrasión vía húmeda y a la exudación. También se evaluará si la adición de fibra de vidrio reduce el tiempo de apertura al tráfico luego de que haya sido aplicado y, finalmente, se comparará el valor de contenido óptimo de emulsión asfáltica resultante de ambos diseños.

Para la realización de este trabajo de investigación, se ha desarrollado 5 capítulos, las cuales serán explicadas a continuación. El Capítulo I: Planteamiento y Delimitación del

Problema, se describe la problemática del presente trabajo de investigación, así como también su delimitación, importancia y justificación. El Capítulo II: Marco Teórico, se hizo una descripción del marco histórico correspondiente a emulsiones asfálticas y Slurry Seal. También se cuenta con investigaciones relacionadas al tema, sea de tipo nacional e internacional. Además, abarca toda la base teórica y conceptos necesarios del presente trabajo de investigación, las cuales han sido recopiladas de libros, artículos, apuntes de capacitación y conferencias. En el Capítulo III: Sistema de Hipótesis, se detallaron las hipótesis del presente trabajo de investigación, así como también se hizo la identificación de la variable dependiente e independiente. El Capítulo IV: Metodología de Investigación, describe el desarrollo del presente trabajo de investigación, tales como el tipo y nivel y diseño de investigación, instrumento de recolección de datos. El Capítulo V: Presentación y Análisis de Resultados, se describe y analiza los resultados de ambos tipos de muestra, realizando también la comparación y describiendo los valores obtenidos. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo, así como también los anexos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACION DEL PROBLEMA

1.1. Formulación y delimitación del problema

1.1.1. Descripción del problema

La asignación de presupuesto para las actividades de mantenimiento y rehabilitación de vías, por parte del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), es una de la más altas debido a la importancia de mantenerlas en buen estado, ya que las actividades de comercio entre los departamentos de nuestro país son muy altas y beneficiosos para el desarrollo de comunidades, así como también las actividades de turismo, el cual es un ingreso muy fuerte. Estas son algunas de las razones por la cual se sustenta el tener un buen desarrollo en el ámbito de infraestructura vial en nuestro país. De igual forma, el tener nuestras vías en buen estado asegura el confort del usuario que transita, fortaleciendo la seguridad vial.

En nuestro medio se tienen varias carreteras importantes que conectan ciudades, tales como la Carretera Central, Panamericana Sur, Panamericana Norte, etc. Estas son diseñadas estructuralmente para un tiempo de vida útil y bajo un estudio de tráfico. Sin embargo, en los últimos años la cantidad de vehículos ha ido aumentando, incluso superando el estudio de tráfico previsto en la etapa de elaboración de expediente, causando un daño mayor al pavimento y disminuyendo su tiempo de vida útil para la que fue diseñada. A eso hay que añadir cuando se produce congestión vehicular en alguna de las carreteras importantes de nuestro país, y considerando que la mayoría son vehículos pesados o de carga, estos al aglomerarse van a generar también un daño mayor al pavimento. Es por ello la importancia de las actividades de mantenimiento en nuestras vías, siendo una de estas técnicas la aplicación de Slurry Seal, el cual también es llamado mortero asfáltico o lechada asfáltica. Al aplicar esta solución como técnica de mantenimiento, estamos alargando la vida útil del pavimento, así como también mejorando su calidad funcional y superficial.

Debido al aumento del tráfico vehicular, y en especial de los camiones pesados y de carga, al realizar un diseño de una mezcla asfáltica en caliente, se plantea que estas incorporen algún tipo de modificador con el fin de poder mejorar su propiedades y desempeño, ya sea con material reciclado o RAP, polímeros, caucho, etc.

De la misma forma, se tiene que buscar mejorar el comportamiento del Slurry Seal ya que este tipo de solución es muy susceptible al agrietamiento reflexivo, por el motivo de que es aplicado en espesores aproximados a 12mm. Se debe tomar en cuenta el análisis costo-beneficio, considerando el incremento vehicular, estos van a causar un mayor deterioro a un Slurry Seal que ha sido aplicado a una vía para su mantenimiento, por lo tanto, se va a requerir otra intervención en un menor periodo de tiempo, generando mayores costos. Por ello que en la presente investigación se quiere estudiar la influencia que tendrá la fibra de vidrio en el comportamiento de un Slurry Seal, a través ensayos de laboratorio normados por la International Slurry Surfacing Association (ISSA). La fibra de vidrio ha sido previamente utilizada en diseños de mezclas asfálticas en caliente, mejorando sus propiedades. Sin embargo, se tiene poca o nula información sobre el uso de la fibra de vidrio en tratamientos de superficie, como lo son el Slurry Seal o Micropavimento

Finalmente, podemos dar cuenta que la infraestructura vial contribuye mucho al desarrollo de nuestro país en muchos aspectos. El mantenimiento vial es una de las principales actividades que nos permite poder seguir conectados con todas las provincias de nuestro país y continuando con el desarrollo económico, social, cultural. Es por ello que nace este presente trabajo de investigación, el estudiar la influencia que tendrá la fibra de vidrio en un Slurry Seal, con el cual buscamos dar una alternativa de solución con fines de mantenimiento vial, así como también promover el uso de la fibra de vidrio en los otros tipos de mezcla usados con fines de mantenimiento.

1.1.2. Problema general

¿Cómo es el comportamiento de un Slurry Seal con la inclusión de fibra de vidrio para trabajos de conservación vial en vías de alto volumen de tráfico?

1.1.3. Problemas específicos

- 1) ¿Cómo influirá la adición de fibra de vidrio en el comportamiento de un Slurry Seal frente al desgaste?
- 2) ¿Cómo influirá la adición de fibra de vidrio en el comportamiento de un Slurry Seal frente a la exudación?
- 3) ¿Cómo influirá la adición de fibra de vidrio en el tiempo de apertura al tráfico?
- 4) ¿La inclusión de fibra influirá en la obtención del contenido óptimo de emulsión asfáltica?

1.2. Objetivo general y específico

1.2.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento de un Slurry Seal con la inclusión de fibra de vidrio para trabajos de conservación vial en vías de alto volumen de tráfico.

1.2.2. Objetivos específicos

- 1) Evaluar la influencia de la adición de fibra de vidrio en un Slurry Seal, frente al desgaste mediante el ensayo de Wet Track Abrassion Test
- 2) Evaluar la influencia de la adición de fibra de vidrio en un Slurry Seal, frente a la exudación mediante el ensayo de Loaded Wheel Test.
- 3) Evaluar la influencia de la adición de fibra de vidrio en un Slurry Seal, en el tiempo de apertura al tráfico.

- 4) Evaluar la influencia de la adición de fibra de vidrio para la obtención del contenido óptimo de emulsión asfáltica.

1.3. Importancia y justificación del estudio

1.3.1. Importancia

La presente investigación busca estudiar la influencia que tendrá la adición de fibra de vidrio a una mezcla de Slurry Seal. Debido a las altas cargas que genera el tráfico pesado al pavimento, es necesario siempre realizar un mantenimiento vial y no esperar hasta que nuestro pavimento se deteriore por completo, lo cual va a generar dificultades para el paso de los vehículos y comprometiendo la seguridad del usuario.

El tener un pavimento completamente deteriorado va a significar la remoción total de esta estructura, generando mayores costos respecto a realizar un mantenimiento periódico. Como se ha mencionado anteriormente, el incremento de vehículos trae consigo también el incremento de cargas que va a soportar la vía. Esto significa también mejorar las propiedades de nuestras soluciones asfálticas con fines de mantenimiento.

Es por ello que se quiere evaluar las propiedades y comportamiento de un Slurry Seal con la fibra de vidrio, para dar a conocer sus beneficios y proponerlo como una alternativa de mantenimiento, así como también proponer el uso de fibra de vidrio para las otras soluciones asfálticas de mantenimiento vial, además de incentivar también el estudio de la influencia que tendrán la adición de otros materiales a estos tipos de mezcla.

1.3.2. Justificación

a) Justificación Teórica

La mayoría de investigaciones sobre modificaciones en el ámbito de pavimentos es realizado para una mezcla asfáltica en caliente, ya sea tanto para la modificación vía húmeda (adición de un polímero al ligante asfáltico, modificando su reología) o vía seca (adición de un polímero o filler no convencional a la composición de la mezcla asfáltica). Para los casos

mencionados, esas modificaciones o adiciones mejoran las propiedades de una mezcla asfáltica en caliente en sus parámetros, tales como estabilidad, flujo, resistencia al ahuellamiento y resistencia a la fatiga. Sin embargo, no se tiene mucha información sobre cómo influye alguna adición para un Slurry Seal o Micropavimento.

En el presente trabajo de investigación se va a estudiar la influencia que tendrá la fibra de vidrio cuando es añadida como un insumo a una mezcla de Slurry Seal, siendo evaluado mediante los ensayos normados por la ISSA (Wet Track Abrasion Test, Loaded Wheel Test, Flexural Tension Test). También se busca alentar las investigaciones de modificaciones para los distintos tipos de soluciones asfálticas que sirven como mantenimiento de vías, teniendo ya el conocimiento del impacto que genera el tener nuestras carreteras en buen estado para el ámbito económico, social y cultural.

b) Justificación Práctica

La investigación contempla el mejoramiento del desempeño de un mortero asfáltico con la adición de fibras de vidrio, la cual es utilizada para el mantenimiento de carreteras y construcción de vías de bajo volumen de tráfico.

c) Justificación Social

El tener carreteras en buen estado hace posible la movilidad entre ciudades o provincias en nuestro país. Siendo el turismo de nuestro país un medio fuerte que aporta nuestra economía, las carreteras deben estar transitables y en buen estado para evitar accidentes.

La exportación de los productos de una provincia aporta mucho a su desarrollo, es por ello lo esencial de que tengan vías de bajo volumen de tráfico y de buena calidad para que puedan enviar sus productos a otros departamentos.

1.4. Delimitación de la investigación

a) Delimitación temporal

La investigación se realizará entre los meses de mayo y octubre del presente año, tiempo que dura el programa de titulación por tesis.

b) Delimitación espacial

Se tendrá un enfoque para un clima frío. Los agregados utilizados en la presente investigación provienen de la cantera San Lorenzo, la cual está ubicada en el departamento de Junín, en la Carretera Central, por lo que la formulación de la emulsión asfáltica será en función a esos agregados.

1.5. Limitaciones del estudio

El presente trabajo de investigación será realizado en base a la data existente de los resultados de ensayos de tratamientos superficiales con fibra de vidrio, en donde se realizará un diseño teórico considerando esos resultados y antecedentes. La emulsión asfáltica considerada está formulada en base al agregado que se va a utilizar y el clima de la zona de donde se va aplicar, el cual es un clima frío. Por temas de tiempo y falta de data, no se podrá realizar la investigación para un clima cálido.

Los anexos referentes a los formatos de ensayo son de nuestra autoría, debido a que el laboratorio es nuevo y aún no está realizando servicios comerciales, motivo por el cual aún no tiene un formato estándar para cada ensayo.

Debido a políticas de privacidad, las fotos del presente trabajo son de otras investigaciones referentes al tema.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio de la investigación

Huanca Cusi (2013) menciona que el origen de los Slurry Seal data desde los finales de los años veinte, en Francia, con el uso de emulsiones denominadas superestables, y también en Alemania en los años treinta, con un producto denominado “Schlame”. Este producto es una mezcla de agregado muy fino con agua, hasta que tenga una buena consistencia, para posteriormente mezclarlo con un ligante asfáltico blando. A consecuencia de esta primera aplicación, se empieza a desarrollar investigaciones sobre este tipo de mezcla, enfocándolo para actividades de mantenimiento vial.

De acuerdo con el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (2016), indica que no es hasta la época de los años sesenta donde se produce el mayor desarrollo de esta tecnología debido a las apariciones de máquinas de flujo continuo para la producción de estas mezclas, siendo España uno de los primeros países en usar este tipo de mezcla Slurry Seal para el mantenimiento de sus vías. También los avances realizados en la tecnología de las emulsiones asfálticas, como por ejemplo la aparición de las emulsiones asfálticas catiónicas, aportaron para el mayor uso de esta mezcla. En esa misma época, se forma la Asociación Nacional de Sellos de Lechada Asfáltica, conocida como NSAA por sus siglas en inglés. Posteriormente y a mediados de los noventa pasó a ser la International Slurry Surfacing Association, conocida por sus siglas en inglés como ISSA.

A principio de los años ochenta se produce la aparición de las emulsiones asfálticas modificadas con polímeros, específicamente del tipo elastómero, significando el mayor avance tecnológico para un Slurry Seal. Simultáneamente, se tiene una evolución en las máquinas de aplicación de Slurry Seal, las cuales ahora poseen una mayor potencia y rapidez de mezclado para las aplicaciones, así como también un dispositivo capaz de garantizar la homogeneidad de la mezcla durante su aplicación en obra.

Con el paso de los años, la tecnología en emulsiones asfálticas ha ido avanzando. Se estuvo realizando estudios para poder mejorar su reología y tener mezclas más duraderas. Es así como nace la tecnología de los Micropavimentos, el cual es una evolución del Slurry Seal.

2.2. Investigaciones relacionadas

2.2.1. Investigaciones internacionales

Orellana Jiménez, Peña Muños y Pérez Aguirre (2015), en la tesis denominada “Propuesta de diseño y proceso constructivo de lechada asfáltica en el mantenimiento de obras viales en El Salvador” – Universidad de El Salvador - El Salvador, tiene como objetivo proponer un diseño y un adecuado proceso constructivo para las lechadas asfálticas para fines de mantenimiento vial.

Los tesistas realizaron la granulometría de sus agregados para fines de caracterización y procedieron con el control de calidad. Posteriormente se realizó la formulación de la emulsión asfáltica que será utilizada, la cual es de rotura controlada modificada con polímeros (CQS-1hp) y su control de calidad. Prosiguieron realizando el diseño de micropavimento, con el cual obtuvieron un contenido óptimo de emulsión asfáltica de 11% respecto al peso seco del agregado. Los tesistas llegaron a las siguientes conclusiones:

A través del ensayo de Rueda Cargada, mientras mayor sea la cantidad de emulsión asfáltica, mayor será la adhesión de arena, representando ese ensayo la exudación o exceso de asfalto.

A través del ensayo de Abrasión Vía Húmeda, nos representa la falta de emulsión asfáltica en nuestra mezcla, pudiéndose presentar pérdidas de agregado y peladuras durante su vida útil.

Con la realización de los ensayos de Ductilidad, Recuperación Elástica y Bola-Anillo, se pudo comprobar la influencia del polímero que tiene en el comportamiento del asfalto, mejorando su resistencia a las altas temperaturas y propiedades elásticas.

García Rojas y Prado Escobar (2015), en la tesis denominada “Estudio comparativo del Slurry seal utilizando agregados de tipo calcáreo y silicio, como

tratamiento para el mantenimiento y rehabilitación de superficies asfálticas” – Universidad Rafael Urdaneta – Venezuela. Se establece una comparativa del Slurry Seal utilizando agregados de tipo calcareo y siliceo para tratamiento superficial de las superficies asfálticas, que se basa en la descripción de elementos, la ejecución y análisis de los ensayos previos a los componentes de las mezclas y el diseño de las variantes por medio de experimentos, las cuales permitieron elaborar un cuadro comparativo en el que se encuentran las características, propiedades y ventajas de cada una de las mezclas. También cabe mencionar que el slurry seal es una capa de desgaste y de sello por lo que no se debe considerar parte de la estructura del pavimento, está compuesto de emulsión asfáltica, agregados finos, agua, cemento portland y aditivos. Se realizaron los siguientes ensayos con respecto a los agregados: Ensayo granulométrico, Ensayo de equivalente de arena, ensayo de resistencia al desgaste, peso unitario suelto, peso específico y absorción de agregado fino. Con respecto a la emulsión son Residuo por evaporación modificado, sedimentación, viscosidad, peso específico y para el diseño de la mezcla son Ensayo de consistencia, ensayo de abrasión húmeda, Ensayo de cohesión, ensayo de rueda cargada, exudación y deformación

Los tesisistas llegaron a las siguientes conclusiones luego de haber ensayado sus muestras

Se concluye que las 2 mezclas presentan comportamientos apegados a lo que indica la norma

La mezcla con agregado calcareo y emulsión mantuvo mejor mejores condiciones en cuanto a consistencia, cohesión, exudación, deformación y abrasión de la mezcla propiamente

Se recomienda usar técnicas de mantenimiento preventivo debido a su facilidad de elaboración y bajos costos

Se recomienda usar una mezcla de agregados de origen calcáreo, ya que con este se obtuvo mejores resultados y un mejor comportamiento en distintas pruebas

Bonilla Murillo y Díaz Giraldo (2018), en la tesis denominada “Modificación de mezclas asfálticas mediante fibras de vidrio listas para instalar” – Universidad Piloto de Colombia - Colombia, tiene como objetivo realizar la modificación de mezclas asfálticas en caliente por vía seca, con la adición de fibra de vidrio, y determinar sus valores de estabilidad y flujo.

Los tesisistas hicieron la adición de fibra de vidrio en los siguientes porcentajes: 0.75%, 0.85%, 0.95%, 1.05%, 1.15%, 1.25%, 1.35%, 1.45% y 1.55%. Los valores de estabilidad incrementaron con los porcentajes de fibra de vidrio de 0.75% y 0.85%. Se observó la tendencia que, a cantidades mayores de fibra de vidrio, el valor de estabilidad disminuía. Los valores de flujos obtenidos fueron menores para los porcentajes de 0.75% y 0.85%, sin embargo, en la mezcla patrón ensayada el valor de flujo es menor que con las adiciones de fibra de vidrio. Los tesisistas, luego de los ensayos realizados a las briquetas, llegaron a las siguientes conclusiones:

Los resultados de estabilidad no resultaron estables mediante la inclusión de fibra de vidrio.

Los resultados de flujo mostraron un leve incremento respecto a la mezcla patrón ensayada.

Mejía Guarango (2018), en la tesis denominada “Diseño de un Mortero Asfáltico con Emulsión, Modificada con Caucho Molido de Neumáticos” – Universidad Central del Ecuador - Ecuador, tiene como objetivo el realizar el diseño de mezcla de un mortero asfáltico con la incorporación de caucho molido como parte del agregado fino, para posteriormente estudiar su comportamiento a través de los ensayos de Wet Track Abrasion Test y Loaded Wheel Test.

El tesisista obtuvo sus muestras de agregado de la mina Ing. Marco Naranjo, en donde procedió a realizar los ensayos de control de calidad. Hizo uso de una emulsión asfáltica CSS-1h, la cual cumplió satisfactoriamente con todos los estándares de calidad, para proceder a realizar el diseño de mezcla de un mortero asfáltico convencional. Seguidamente, el investigador realizó el diseño del mortero asfáltico, obteniendo el óptimo contenido de emulsión, el cual es el

valor de 9.33%. Se realizó un tamizado al caucho, el cual según la especificación NTE-INEN recomienda que todas sus partículas sean pasantes del tamiz N°8, lo cual cumplió satisfactoriamente. Posteriormente, se realizan las adiciones de caucho. En una primera etapa, el caucho añadido es denominado caucho en bruto ya que contiene pelusas provenientes del nailon de los neumáticos. Este tipo de caucho fue añadido al mortero asfáltico en cantidades de 3%, 5% y 7% y posteriormente se ensayaron esas muestras con el Wet Track Abrasion Test y Loaded Wheel Test, en los cuales los valores resultantes para ambos ensayos y cada porcentaje añadido de caucho no mostraron mejoría alguna respecto al mortero asfáltico convencional, puesto que los valores se acercaban más a los límites establecidos por la ISSA.

Seguidamente, se realizó otra tanda de ensayos, pero ahora sacando la pelusa al caucho, para que este material no esté tan contaminado. En estos ensayos, iniciaron añadiendo una cantidad de 3% de caucho y la cual fue aumentando a razón de 1% hasta llegar a un 10%. Para la cantidad añadida de 8% de caucho, se pudo observar mejoría en los resultados de los ensayos previamente mencionados. El tesista pudo llegar a las siguientes conclusiones:

El contenido óptimo de asfalto es de 5.60%, valor con el que se elaborarán las probetas para el desarrollo de la investigación.

Las características del mortero asfáltico convencional son mejoradas mediante la adición de caucho molido en un porcentaje de 8%.

Astorga Montaña (2018), en la tesis denominada “Evaluación de la Influencia del Contenido de Escoria de Cobre en la Elaboración de Lechadas Asfálticas” – Universidad de Valparaíso - Chile, tiene como objetivo realizar la evaluación de la influencia que tendrá la adición de escoria de cobre durante la elaboración de muestras de lechadas asfálticas (Slurry Seal), con lo cual se medirá mediante los ensayos de Consistencia, Wet Track Abrasion Test y Loaded Wheel Test.

El tesista realizó el análisis granulométrico de la escoria de cobre, la cual encaja dentro del huso granulométrico de una lechada asfáltica, siguiendo con la caracterización de agregados de la cantera Bitumix Concón y los ensayos de

control de calidad a la emulsión asfáltica CSS-1h, para posteriormente realizar el diseño convencional de una lechada asfáltica. Posteriormente, se realizó los ensayos de caracterización a la escoria de cobre, la cual cumplió satisfactoriamente con todos los parámetros establecidos y se procedió a realizar un diseño de lechada asfáltica con reemplazo total de escoria de cobre. De la misma forma, se realizarán otras probetas con un reemplazo de 60% y 30% de escoria de cobre. De los resultados obtenidos de los ensayos, mientras mayor sea el porcentaje añadido de escoria de cobre, el contenido de agua necesario para garantizar la trabajabilidad de la lechada asfáltica disminuye. Para el caso de la resistencia al desgaste, las mezclas que fueron modificadas con escoria de cobre mejoraron su comportamiento frente al desgaste, mientras que para su resistencia frente a la exudación no se presenta mejora alguna. El tesista llegó a las siguientes conclusiones:

De acuerdo con los resultados obtenidos, a medida que se va aumentando la cantidad de escoria de cobre, el contenido de agua va disminuyendo debido a que este material posee una absorción de alrededor de 0.33%, la cual es menor que el material proveniente de la cantera Bitumix Concón.

El aumentar la escoria de cobre a una mezcla de lechada asfáltica hará que disminuya el desgaste que pueda sufrir la muestra durante su vida útil. Esto se debe ya que la cohesión entre el ligante asfáltico con la escoria de cobre es mejor que la del ligante asfáltico con el agregado pétreo.

La menor cantidad de poros accesibles que posee la escoria de cobre hace que la exudación de una mezcla de lechada asfáltica sea mayor que la de una convencional. Esto debido a que los agregados con los que se realizó la mezcla convencional tienen mayor cantidad de poros accesibles.

Las lechadas asfálticas que contienen escoria de cobre dentro de su composición, sea total o parcial, han cumplido satisfactoriamente las exigencias de la normativa referente para su elaboración, con lo cual, se tendrá una mezcla que otorgará características antideslizantes y que protegerá, rejuvenecerá y detendrá la oxidación de carpetas de rodaduras existentes que estén en servicio frente a cargas de tránsito pesado.

Cruz Chimal (2020), en la tesis denominada “Evaluación de las emulsiones asfálticas basadas en especificaciones de grado de desempeño y del efecto de las fibras utilizadas en aplicaciones de microaglomerados” – Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo – México, cuyo objetivo es el de evaluar el comportamiento de diferentes tipos de emulsión basadas en el grado de desempeño y el efecto de fibra de vidrio en microaglomerados, sostiene que los microaglomerados son un medio eficaz para prolongar la vida útil de los pavimentos, uno de sus componentes principales son las emulsiones asfálticas y que las propiedades de estos son críticas para el desempeño de los microaglomerados, pero las especificaciones para estos materiales no están basadas en el desempeño esperado de los microaglomerados, por lo que se abordan en esta investigación nuevos métodos y cambios a métodos existentes de pruebas para emulsión asfáltica, tanto en la emulsión original como en el residuo asfáltico de la misma, contribuyendo a la producción, aplicación y el desempeño de microaglomerados en un rango amplio de temperaturas.

Para lo cual evaluó emulsiones utilizadas en microaglomerados mediante especificaciones de grado de desempeño para emulsiones asfálticas, estas están condicionadas por el clima y el tráfico que van a estar presentes durante la vida útil del microaglomerado, luego se evaluó el efecto de la fibra de vidrio en el microaglomerado, esto se llevó a cabo mediante una comparación de especímenes de microaglomerado con o sin fibra de vidrio, los cuales se sometieron a seis pruebas principales (TB 113, TB 139, TB 100, TB 109, TB 146 Y TB 147) desarrolladas por la ISSA.

El tesista luego de las pruebas, llegó a las siguientes conclusiones:

Se determinó que la fibra de vidrio tiene un efecto significativo en la resistencia a la flexión de la mezcla.

Se notó un incremento en el desarrollo de la cohesión en la muestra con fibra de vidrio.

Las muestras con fibra ensayadas en la prueba de abrasión presentan mayor pérdida de materiales con respecto a las muestras sin fibra.

En la prueba de rueda cargada no se notó ningún cambio significativo.

En la prueba de desplazamiento lateral se identificó una mejora al agregar fibra de vidrio al microaglomerado

La guía de diseño para microaglomerados de la ISSA, cubre una amplia gama de parámetros de desempeño que va desde la compatibilidad entre emulsión y agregados, daños de por tráfico, daños por humedad, exudación y resistencia al agrietamiento. Por lo que sirve para realizar un buen diseño.

Martínez Flores y Montañez Munar (2021), en la tesis denominada “Estudio de Lechadas Asfálticas Para Pavimentos con la Incorporación de Residuos de Plásticos PET” – Universidad Piloto de Colombia - Colombia, tiene como objetivo el realizar el análisis de la composición y desempeño de lechadas asfálticas con la incorporación de residuos de PET, en laboratorio.

El tesista indica que, al no contar con los equipos para los ensayos de Wet Track Abrasion Test y Loaded Wheel Test, realizó un análisis del alcance de aquellas normas correspondientes a los ensayos mencionados para poder sustituirlos por una serie de pruebas semejantes. Se realizó 6 diseños de lechadas asfálticas, las cuales 3 son con agregados y 3 con material PET en reemplazo 100% al agregado en masa, pasante por el tamiz N°8 y retenido en el tamiz N°16. El investigador realizó los siguientes ensayos correspondientes a la lechada asfáltica: consistencia, tiempo de rotura de emulsión asfáltica. Como se había mencionado anteriormente, los ensayos W.T.A.T. y L.W.T. no pudieron ser realizados, por lo cual, se realizó en su lugar los ensayos de Resistencia a la tracción y Resistencia a la compresión. El tesista pudo llegar a las siguientes conclusiones:

En el ensayo de consistencia, muestras que contienen una mayor cantidad de PET, requieren una mayor cantidad de agua y emulsión asfáltica para su dosificación. Esto se debe que, al tener el PET una densidad menor que el de los agregados pétreos, su volumen es mayor.

Las muestras con contenido de PET obtuvieron menor valor de resistencia a la tracción indirecta, con lo cual, se determina que no se genera una buena

adherencia entre los materiales, lo cual hará que se genere un mayor desgaste en la lechada asfáltica.

Las muestras con contenido de PET son menos rígidas que las mezclas convencionales, esto debido a que soportan un menor valor de carga antes de su rotura.

2.2.2. Investigaciones Nacionales

Huanca Cusi (2013), en la tesis denominada “Diseño de Slurry Seal empleando emulsión asfáltica modificada con polímeros y su evaluación variando el contenido de filler” – Universidad Nacional de Ingeniería - Perú, tiene como objetivo la realización del diseño de mezcla de Slurry Seal haciendo uso de emulsiones asfálticas de rotura lenta modificadas con polímero y su evaluación mientras se varía la cantidad de cemento portland, el cual será usado como filler, en proporciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% respecto al peso seco del agregado.

El tesista hizo uso de agregado proveniente de la cantera Arunta, ubicado en el poblado de Nueva Tacna, departamento de Tacna. Para la obtención del contenido teórico de emulsión asfáltica se hizo uso del método de Duriez, resultando un valor de 15% con el cual se empezó a moldear las briquetas, variando en 1% el contenido de emulsión asfáltica, así como también variando el contenido de filler. Las muestras fueron sometidas a los ensayos de desempeño Abrasión en Húmedo y Rueda Cargada, con lo cual se obtuvo un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 14%. Con la fórmula de trabajo final, el tesista realizó el ensayo de cohesión a la mezcla, a fin de evaluar el tiempo de apertura al tráfico. El investigador llegó a las siguientes conclusiones:

El óptimo contenido de emulsión asfáltica es de 14% respecto al peso seco del agregado. Con esta cantidad se garantiza un correcto comportamiento del Slurry Seal, siendo resistente a la abrasión en húmedo y a la exudación del asfalto.

A medida que el porcentaje de filler fue incrementándose para cada diseño de Slurry Seal, los valores para la pérdida por abrasión y la adhesión de arena fueron disminuyendo, teniendo un mayor impacto en la pérdida por abrasión.

A medida que se incrementaba el porcentaje de filler, los valores de cohesión tienden a incrementarse y los valores de mezclado iban disminuyendo, con lo cual el tiempo de apertura al tráfico también se reduce.

Ortiz Palomino (2014), en la tesis denominada “Evaluación de Laboratorio del Desempeño de Morteros Asfálticos y Micropavimentos con Agregados Naturales del Proyecto: Mantenimiento de Carreteras Interoceánica Norte” – Universidad Nacional de Ingeniería - Perú, tiene como objetivo realizar el diseño de un mortero asfáltico y un micropavimento, con las canteras cercanas a la zona de proyecto.

La tesista realizó los ensayos de control de calidad y caracterización a las canteras Yuracyu, Vilcaniza y Naranjillo. Para el diseño y elaboración de Slurry Seal convencional, el material utilizado es de la cantera Naranjillo. El valor óptimo de emulsión asfáltica fue de 13%, de agua 1.5% y filler 0.5%, obteniendo un valor de cohesión satisfactoria con la dosificación indicada, puesto que cumplió con el parámetro mínimo establecido de 20 kg-cm. Para el caso de micropavimento, obtuvo un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 15.4%, de agua 9%, filler 0.2% y aditivo 0.4%. Los valores de cohesión obtenidos para el micropavimento fueron mayores que el del mortero asfáltico, esto debido al tipo de emulsión y aditivo que posee el micropavimento.

Posteriormente, se utilizó el material proveniente de la cantera Vilcaniza para la elaboración de Slurry Seal, obteniendo un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de 14.5%. De la misma manera, para agua se obtuvo un porcentaje de 11.7%, filler 0.5%, además, cumplió satisfactoriamente el torque requerido para el ensayo de cohesión. Para el caso de micropavimento, el óptimo contenido de emulsión asfáltica es de 15.4%, de agua 8.5%, filler 0.2% y aditivo 0.4%. El torque obtenido en el ensayo de cohesión resultó satisfactorio y mayor que el del Slurry Seal. La tesista llega a las siguientes conclusiones:

La diferencia básica entre un Slurry Seal y Micropavimento radica en la emulsión que se utiliza para cada uno de estos tipos de mezcla. Un Slurry Seal requiere el uso de una emulsión de rotura lenta, pudiendo ser modificada con

polímero. Para el diseño de un Micropavimento, se requiere que la emulsión asfáltica sea de rotura controlada y que tenga un mínimo de 3% en polímeros.

Para asegurar un buen diseño, aparte de cumplir los requisitos de control de calidad tanto del agregado como de la emulsión asfáltica, se debe de verificar la compatibilidad entre los materiales que conforma la mezcla y sus propiedades mecánicas.

El Slurry Seal con emulsión modificada evidencia un mejor comportamiento frente al desgaste (Abrasión en Húmedo) y deformación (Rueda Cargada), mientras que el Slurry Seal con emulsión convencional incluso no llegó a cumplir con las exigencias establecidas para los ensayos anteriormente mencionados. Es así, que la emulsión asfáltica modificada presenta ventajas respecto a la convencional, incluso considerando que se ha utilizado el mismo material de cantera.

Ramírez Cruz (2017), en la tesis denominada “Comportamiento del Slurry Seal a altitudes mayores a 3500 m.s.n.m. en mantenimiento de pavimentos flexibles de la ciudad de Puno” – Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez - Perú, tiene como objetivo describir el comportamiento que tendrá un Slurry Seal, usado para fines de mantenimiento vial, en la ciudad de Puno a altitudes mayores a 3500 msnm, buscando mejorar la texturización de un pavimento asfáltico.

La tesista realizó previamente la inspección de pavimentos mediante la metodología del PCI en el jirón Sinchi Roca. Las muestras de agregado provienen de la cantera Cutimbo, ubicado en la ciudad de Puno. Se procedió a realizarle los ensayos de control de calidad tales como análisis granulométrico, equivalente de arena, azul de metileno. Consecuentemente, la tesista realizó el diseño del Slurry Seal, resultando un óptimo contenido de emulsión asfáltica de 13%, cantidad de agua 8% y cantidad de filler 1%, todo respecto al peso seco del agregado. Se realizó la aplicación del Slurry Seal en la zona delimitada de trabajo, siendo aplicado de manera manual en las áreas donde no pueda entrar el camión micropavimentador.

Finalmente, la tesista evaluó el comportamiento del Slurry Seal en campo, luego de su colocación, verificando los parámetros de resistencia al deslizamiento y textura. Las conclusiones a las que llegó son las siguientes:

La aplicación de Slurry Seal en el área de trabajo mejoró los niveles de serviciabilidad del pavimento, de tal forma que se tiene una vía más segura.

La aplicación de Slurry Seal mejoró la resistencia al deslizamiento, obteniendo coeficientes de deslizamiento de rozamiento mayores a 0.73, los cuales son superiores al mínimo establecido por las Especificaciones Técnicas del MTC.

La textura superficial de un pavimento es un factor muy importante, ya que incide en la resistencia al deslizamiento entre neumático y carpeta de rodadura.

Torres Ccoyllar (2019), en la tesis denominada “Comportamiento del Slurry Seal para el mantenimiento de la superficie asfáltica, El Tambo” – Universidad Peruana Los Andes - Perú, tiene como objetivo determinar los resultados producto de la aplicación del Slurry Seal como técnica de mantenimiento de la avenida Evitamiento, ubicado en El Tambo – Huancayo.

La investigadora primero realizó una evaluación de PCI de la avenida mencionada, específicamente en el tramo de la avenida Mariscal Castilla y avenida Huancavelica. Realizó un total de 34 unidades de muestreo, siendo el PCI ponderado la condición regular, el cual va a solicitar un mantenimiento periódico.

Siguiendo con la investigación, la tesista obtuvo muestras de agregados procedente de la Planta de Asfalto y Chancadora de la DRTC de Junín, al cual le realizó los ensayos de control de calidad, cumpliendo todo lo exigido por las especificaciones, y prosiguiendo con el diseño de Slurry Seal, obteniendo un 13% de contenido óptimo de emulsión asfáltica, el cual es de tipo de rotura controlada y con un porcentaje de polímeros (CQS-1hp).

La tesista, tomando en base los resultados de la dosificación del Slurry Seal diseñado, llega a las siguientes conclusiones:

El diseño realizado garantiza una buena resistencia frente a la abrasión producto del tráfico y una buena cohesión, generando resultados significativos para el mantenimiento de una superficie asfáltica.

Debido al uso de una emulsión asfáltica de rotura controlada con polímeros en el diseño de mezcla del Slurry Seal, las propiedades de esta fueron mejoradas, ya que otorga una mejor resistencia al desprendimiento y agrietamiento por fatiga.

Condori Quispe (2022), en la tesis denominada “Corrección del Índice de Rugosidad de la Superficie de Rodadura del Tramo Imata – Patahuasi Mediante la Colocación de Slurry Seal” – Universidad Nacional del Altiplano - Perú, tiene como objetivo evaluar la influencia que tendrá la aplicación de un Slurry Seal en el IRI en el tramo vial de Imata – Patahuasi.

El tesista obtuvo la muestra de agregados proveniente de la cantera Uquiña, la cual está ubicada en el distrito de Yura. Se hizo uso de una emulsión asfáltica de rotura lenta modificada con polímero CSS-1p. El investigador realizó diferentes diseños de Slurry Seal, variando el contenido de filler en 0.5%, 1.0% y 2.0%.

Las aplicaciones de Slurry Seal fueron realizadas en el tramo de prueba de la vía, la cual está ubicada entre los km 125 al km 130. Para la obtención de valores de IRI, hicieron uso del perfilómetro láser, antes y después de la aplicación de Slurry Seal. El tesista llegó a las siguientes conclusiones:

La colocación de Slurry Seal influye en los valores de IRI obtenidos mediante el perfilómetro láser.

La variación de filler en el diseño de mezcla de un Slurry Seal hace que se reduzcan los valores de los ensayos de Wet Track Abrasion Test y Loaded Wheel Test, por lo cual, la resistencia del Slurry Seal se ve aumentada.

El incremento progresivo de filler tiene influencia en el ensayo de cohesión, resultando en tiempos menores de apertura al tráfico en campo.

2.3. Estructura Teórica

2.3.1. Pavimento

Estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, superpuestos, colocados sobre el terreno acondicionado debidamente compactados, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos con seguridad y comodidad. Estas tienen que resistir los esfuerzos de las cargas del tránsito durante un periodo de vida para el cual fue diseñado esta estructura.

Según Montejo, A. (2006), un pavimento para cumplir debidamente sus funciones debe cumplir los siguientes requisitos:

- Resistente a las cargas generadas por el tráfico
- Resistente a los agentes del intemperismo
- Tener una adecuada textura superficial
- Presentar regularidad superficial tanto longitudinal como transversalmente
- Tener una buena durabilidad
- Tener un buen sistema de drenaje
- Económico, sin generar un sobrediseño estructural
- Brindar un excelente confort al usuario

2.3.2. Pavimento flexible

El MTC, en su Manual de Carreteras – sección suelos y pavimentos (2014) indica que el pavimento flexible es una estructura que está conformada por capas granulares, las cuales son las capas base y subbase, y una carpeta de rodadura, la cual está constituida con materiales bituminosos, agregados y de ser el caso aditivos. Se considera como carpeta de rodadura de asfalto: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimentos, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.

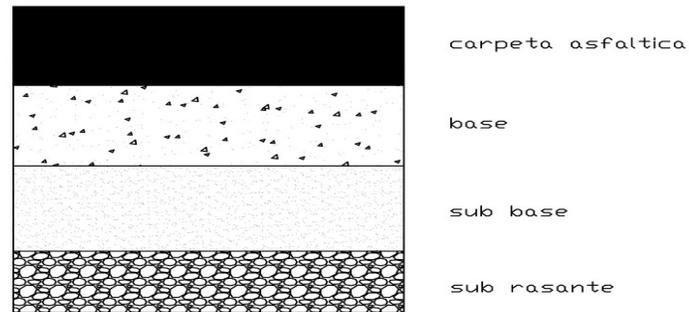


Figura 1: Estructura de un pavimento asfáltico sobre la subrasante
Fuente: Elaboración propia (2022)

a) Componentes del pavimento flexible

- Carpeta de rodadura

Llamado también superficie de rodadura. Está compuesta por un ligante asfáltico, agregados y aditivos en caso sea necesario. Está sometida a los esfuerzos máximos y condiciones más severas impuestas por el clima y el tráfico. La función de la carpeta de rodadura es proporcionar una superficie uniforme y estable para el tránsito vehicular, debe tener un color y una textura conveniente y debe resistir los efectos de la abrasión del tránsito.

- Base

De acuerdo con el manual de Suelos y Pavimentos del MTC (2014), esta capa tiene como función resistir, distribuir y transmitir las cargas que son generadas por el tráfico vehicular. Se requiere un mínimo de CBR de 80% para el material que se utilizará para su conformación, pudiendo ser estabilizado en caso se requiera.

- Subbase

De acuerdo con el manual de Suelos y Pavimentos del MTC (2014), esta capa soporta a las capas superiores (base y carpeta de rodadura) y controla la capilaridad del agua. Los materiales que lo conforman son de menor

calidad a los de la base, solicitando las especificaciones un mínimo de CBR de 40%. El material que se utilizará para su conformación puede ser estabilizado, en caso sea requerido.

b) Pavimentos económicos

También llamado caminos con solución básica. De acuerdo con el documento Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos del MEF, un pavimento económico hace referencia a las alternativas técnicas y económicas para la aplicación de una base estabilizada y recubrimientos bituminosos, de tal forma que las carpetas de rodaduras que no se encuentren pavimentadas, tengan una mayor vida útil y otorguen una mejor vida de servicio.

Para este tipo de soluciones, se tienen las siguientes opciones:

- Caminos afirmados estabilizados sin recubrimiento

La superficie de rodadura está compuesta por material afirmado estabilizado o suelos estabilizados, con algún producto químico.

- Caminos afirmados estabilizados con recubrimiento

La superficie de rodadura está compuesta por afirmado o suelos estabilizados, seguida con una capa bituminosa como recubrimiento.

- Caminos con soluciones básicas pavimentadas

Están compuestos por capas granulares y bases estabilizadas, y una superficie de rodadura de tecnología en frío como puede ser un Slurry Seal, Micropavimento, Tratamiento superficial, Mezcla Asfáltica en Frío.



Figura 2: Capa de Slurry Seal sobre base estabilizada
Fuente: Elaboración propia (2021)

Las aplicaciones de Slurry Seal y/o Micropavimento sobre una base estabilizada no otorga algún aporte estructural, tal como si lo hace una mezcla asfáltica en caliente, sino que protege aquella base estabilizada del paso de los vehículos. Generalmente, este tipo de soluciones son aplicadas en vías de bajo volumen de tránsito.

2.3.3. Asfaltos

También llamado cemento asfáltico de petróleo, o CAP PEN, es un material cementante, de color oscuro y de consistencia variable. “El cemento asfáltico es un material viscoelástico de color marrón a oscuro, utilizado para la elaboración de mezcla asfálticas. Casi la totalidad del asfalto se obtiene a partir del proceso de refinado de petróleo.” (Menéndez, 2012, p.85).

El cemento asfáltico puede variar su comportamiento de acuerdo a la temperatura en que se encuentre. A altas temperaturas, el cemento asfáltico se comporta como un fluido mientras que a bajas temperaturas se comporta como un sólido elástico. Si el asfalto se encuentra a una temperatura de 60°C, fluirá una determinada cantidad en 1 hora, y si se encuentra a una temperatura de 25°C, fluirá esa misma cantidad, pero en 5 horas. Entonces, mientras mayor temperatura se encuentre el asfalto, este tendrá un comportamiento más como un fluido viscoso, tendiendo a exudarse y deformarse si se encuentra bajo la

aplicación de carga. En cambio, si el asfalto se encuentra a bajas temperatura, este se volverá un material rígido. Si aplicamos alguna carga, el asfalto actuará como un material elástico. (Menéndez, 2012).



Figura 3: Susceptibilidad térmica del asfalto
Fuente: Huamán, Néstor (2019)

a) Composición química

De acuerdo con Menéndez (2012), la mayoría de asfaltos está conformado por los siguientes elementos: carbón, hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno. Los asfaltos poseen una fracción pesada, llamados asfaltenos, y una fracción liviana, llamados maltenos.

- Asfaltenos

Reyes Lizcano y Rondón Quintana (2015) indican que esta fracción aporta rigidez al cemento asfáltico y conforman entre 5 al 25% de este.

El contenido de asfaleno en el cemento asfáltico genera un gran impacto en su reología. Porcentajes altos implica que el cemento asfáltico sea duro y que tenga una mayor viscosidad (Menéndez, 2012).

- Maltenos

Las resinas, aromáticos y saturados son parte de la fracción de malteno del asfalto. Las resinas otorgan adherencia y características cementantes, conformando entre 5 a 30% del asfalto. Los aromáticos conforman

también de 5 a 30% del asfalto e incrementan su estado de fluidez. Los saturados forman parte del asfalto entre un 5 a 20% (Reyez Lizano y Rondón Quintana, 2015).

b) Reología del asfalto

La reología es definida como la parte de la física que estudia la forma en como los materiales se van deformar cuando se le es aplicado una carga. La deformación que es medida, es de los cuerpos que no son ni sólidos ni líquidos, es decir, de cuerpos intermedios entre el estado sólido elástico y líquido viscoso. Para el asfalto, la reología es una de las propiedades más importantes, ya que refiere a como sus propiedades de flujo van a variar a través del tiempo, con la aplicación de una carga. Está ligado con la propiedad de viscosidad.

La viscosidad de asfalto varía dependiendo a la temperatura que se encuentre y su estudio es muy importante y a la vez de un gran interés práctico, porque en aplicaciones del asfalto hacemos cambiar su viscosidad mediante el calentamiento. A temperaturas altas, el asfalto se comporta como un fluido viscoso, mientras que, a temperaturas bajas, es considerado como un material sólido con propiedades elásticas. El uso de nomogramas y curvas nos sirve para poder conocer las características de flujo del asfalto, a distintas temperaturas. Por ejemplo, el nomograma de Heukelom nos permite caracterizar al asfalto desde el punto de vista reológico.

Actualmente, existen equipos y ensayos para poder estudiar el comportamiento reológico del asfalto, siendo uno de ellos el reómetro de corte dinámico (DSR). Mediante este ensayo, obtenemos 2 parámetros importantes: ángulo de fase y módulo complejo. El ensayo consiste en aplicar un esfuerzo oscilante al asfalto, obteniendo una deformación, la cual será la respuesta del asfalto a la carga aplicada.

La mecánica racional establece a los cuerpos como unos elementos que no son deformables y la mecánica elástica los considera como sólidos elásticos, consecuentes con la ley de Hooke, la reología considera el caso en el que las

deformaciones producidas por un agente exterior o, por un proceso propio, aparecen ligadas íntimamente al factor tiempo.

c) Comportamiento viscoelástico del asfalto

Los cuerpos reológicos se consideran como intermedios entre el sólido elástico y líquido de Newton (viscoso), razón por la cual se llaman cuerpos viscoelásticos. El asfalto es un material viscoelástico, es decir, es aquel material que presenta un comportamiento viscoso y a la vez un comportamiento elástico.

Los materiales viscoelásticos tienen como característica que, al aplicárseles una carga, estas van a sufrir una deformación, y al quitar esa misma carga, va a tender a regresar a su posición original antes de que sea aplicado esa carga, sin embargo, no regresará por completo a su lugar original, dejando una pequeña deformación la cual se irá acumulando.

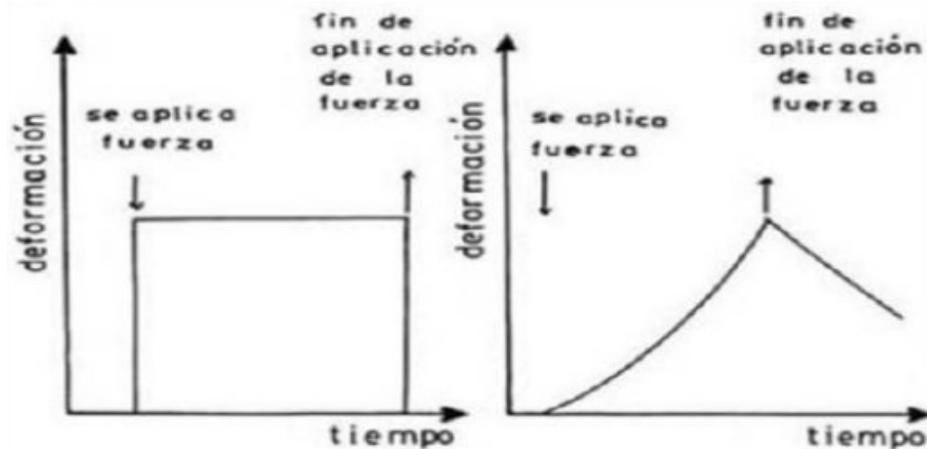


Figura 4: Comportamiento de los cuerpos frente a la aplicación de una carga
Fuente: Zegarra (2020)

Se explicará más a detalle el comportamiento viscoelástico del material. Cuando se aplica la carga, el material sigue una trayectoria la cual es muy corta y elástica, como se observa en el tramo “AB”. Seguidamente, se da una deformación más retardada, como se observa en el tramo “BC”. Cuando se retira la carga actuante, se produce una recuperación elástica como en el tramo “CD”, seguida de una recuperación retardada “DE”. Como se observa,

el material nunca recupera su posición inicial, quedando con una deformación permanente.

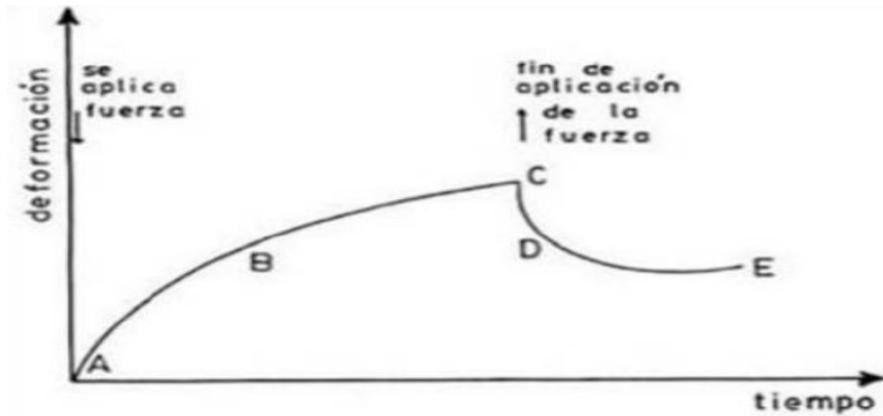


Figura 5: Esquema del comportamiento viscoelástico del asfalto
Fuente: Zegarra (2020)

2.3.4. Emulsión asfáltica

Rodríguez, Castaño y Martínez (2001) definen la emulsión como la unión de dos líquidos, que no son compatibles entre sí, gracias a un emulsificante o agente estabilizador. Entonces, la emulsión asfáltica es definida como la dispersión de partículas pequeñas de cemento asfáltico en agua, las cuales son estabilizadas por un emulsificante, el cual otorga una carga a las partículas de asfalto.

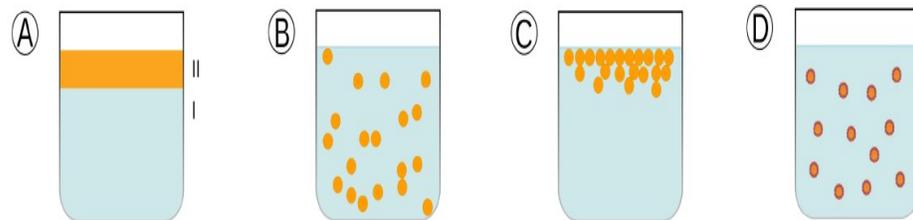


Figura 6: Mecanismo de una emulsión
Fuente: Quispe, Sergio (2021)

Como puede observarse en la figura, en el esquema A se tienen dos líquidos inmiscibles. La fase I (color celeste) es la fase continua y la fase II (color naranja) es la fase dispersante, las cuales aún no se encuentran emulsificadas.

En el esquema B ya está generada la dispersión. La fase II se ha dividido en pequeñas gotitas y se ha dispersado en la fase I. Esto se llama estado de emulsificación.

En el esquema C se observa que, si no hay un agente estabilizador, las partículas de la fase dispersante se van a volver a unir, como en el esquema A. Los emulsificantes son los que generan que la emulsión sea estable, tal como se muestra el esquema D, mantiene a la fase líquida y la unión de estos dos líquidos inmiscibles.

La emulsión asfáltica es el único ligante que se puede diseñar, debido a que la formulamos de acuerdo con los agregados que se va a trabajar, clima en el que se va a aplicar, y la elección del emulgente con el que presente un mejor comportamiento.

El uso de emulsiones asfálticas en nuestro país es muy importante y deben ser correctamente formuladas para el uso y zona de proyecto donde vamos a aplicar. “Las emulsiones son solicitadas para actividades de mantenimiento periódico y rutinario, aunque también pueden aplicarse para actividades de reciclaje, estabilizaciones, imprimaciones, formulación de riego de liga, elaboración de una mezcla asfáltica en frío” (Sáez, 2019, p.51).

a) Componentes de una emulsión asfáltica

Sáez Alván (2019) menciona que la emulsión asfáltica está compuesta por cemento asfáltico y la solución jabonosa. La solución jabonosa es la combinación del agua, ácido clorhídrico y emulgente. En algunas ocasiones, se utiliza aditivos controladores de rotura.

Dependiendo del tipo de emulsión asfáltica que se formule, las proporciones de los componentes pueden variar, siendo siempre el cemento asfáltico el de mayor proporción de la emulsión asfáltica.

- **Cemento asfáltico**

Conforma el 60-65% de la emulsión asfáltica, dependiendo del tipo de emulsión asfáltica que se formule.

- Agua

Es importante realizarle un control de calidad al agua a utilizar en la formulación debido a que puede contener algunos minerales que afecten directamente el proceso de producción. De acuerdo con Huanca Cusi (2013), el utilizar aguas impuras orgánicas puede generar problemas en la emulsión asfáltica, como el desequilibrio de sus componentes, con lo cual generaría una rotura prematura o el desempeño de la emulsión.

- Emulsificante

También llamado emulgente, generalmente provienen de grasas animal o vegetal, teniendo estos un diferente comportamiento. El emulsificante tiene la función de estabilizar la emulsión, ya que otorga una carga a las partículas de cemento asfáltico, siendo estas del mismo signo para todos, con lo cual va a generar una repulsión electrostática que impide que las partículas de asfalto puedan unirse entre sí, quedando dispersa en la fase acuosa.

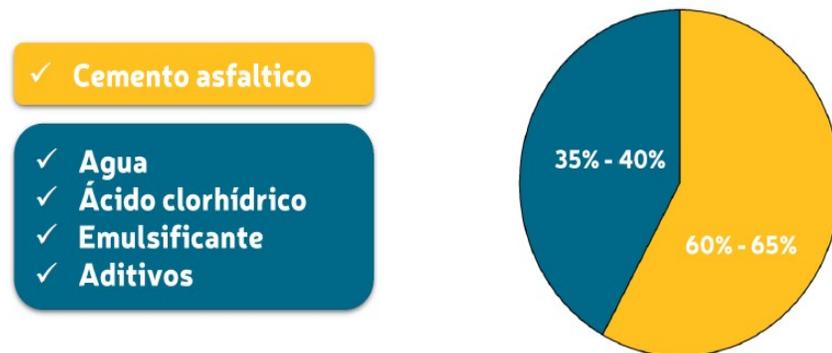


Figura 7: Componentes de una emulsión asfáltica
Fuente: Quispe, Sergio (2021)

b) Clasificación

Las emulsiones asfálticas pueden clasificarse de acuerdo al tipo de carga de sus partículas o velocidad de rotura.

- Por tipo de carga

Dependiendo del tipo de emulsificante que se utilice en la formulación, esta otorgará una carga a los glóbulos de asfalto, pudiendo ser una carga positiva (emulsión asfáltica catiónica) o negativa (emulsión asfáltica aniónica).

- Por velocidad de rotura

Dependiendo del tipo de rotura, se podrán utilizar las emulsiones asfálticas para el diseño de riegos o tratamientos superficiales. Pueden clasificarse como emulsiones asfálticas de rotura rápido, rotura media, rotura lenta y rotura controlada, el cual este último usa un aditivo controlador de rotura.

Tipo	Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta				Rotura rápida	
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		CQS-1H	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Pruebas sobre Emulsiones:														
- Viscosidad Saybolt Furol a 25°Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100	20	100
- Viscosidad Saybolt Furol a 50°Cs	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	-	-	-
- Estabilidad de Almacenamiento, 24h, % ^(M)	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsibilidad, 35 cm ³ , 0.8% Dietilsulfosuccinato sódico, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Revestimiento y Resistencia al agua:														
- Revestimiento agregado seco					Bueno				Bueno					
- Revestimiento, agregado seco después del rociado					Aceptable				Aceptable					
- Revestimiento, agregado húmedo					Aceptable				Aceptable					
- Revestimiento, agregado húmedo después del rociado					Aceptable				Aceptable					
Carga de partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo	
Prueba de Tamiz % ^(M)	-	0,1	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Mezcla con Cemento, %									2,0		2,0			
Destilación:														
- Destilación de aceite, por volumen de emulsión	-	3	-	3	-	12	-	12	-	-	-	-	-	-
- % Residuo	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-	57	-
Pruebas sobre el Residuo de destilación:														
- Penetración, 25°C, 100 g, 5s	100 ^(H)	250 ^(H)	100 ^(H)	250 ^(H)	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
- Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-
- Solubilidad en Tricloroetileno, %	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-

Figura 8: Especificaciones técnicas para emulsión asfáltica catiónica
Fuente: Especificaciones técnicas de carreteras – MTC (2013)

c) Nomenclatura

Se hace uso de una nomenclatura para la identificación de las emulsiones asfálticas, dependiendo del tipo de carga eléctrica, velocidad de rotura, viscosidad y si está modificada con polímero.

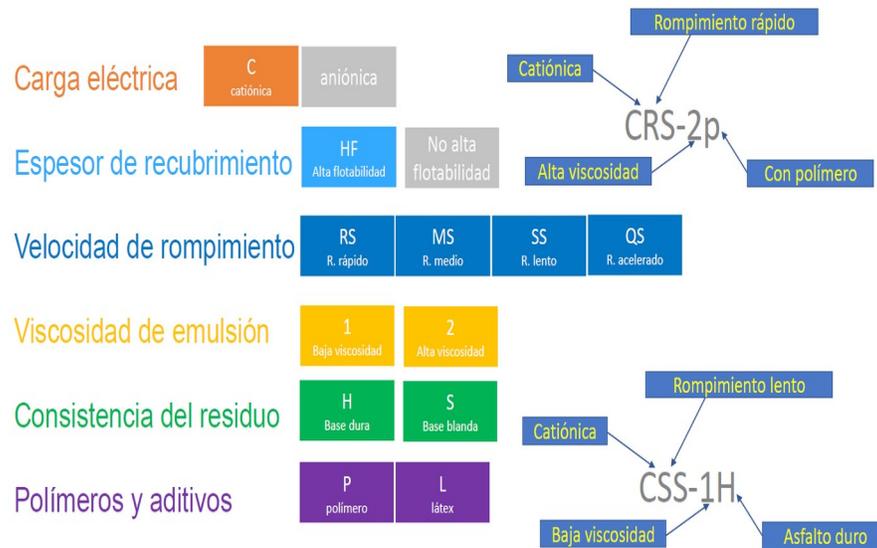


Figura 9: Nomenclatura de una emulsión asfáltica

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales – Universidad de Costa Rica (2022)

d) Rotura de la emulsión asfáltica

El proceso de rotura de una emulsión asfáltica implica que el agregado sea totalmente cubierto con el asfalto y para ello, la emulsión que estamos usando debe ser desestabilizada (Huanca Cusi, 2013).

El proceso de rotura de la emulsión asfáltica se debe a la carga eléctrica que posee el agregado, ya que esta va a neutralizar las cargas que poseen los glóbulos de asfalto, permitiendo que se atraigan, lo cual va a generar algunos rozamientos que hará que se eliminen algunas partículas del emulsificante, facilitando la formación de agregaciones (proceso de floculación). Las agregaciones son materiales de gran tamaño, que son los que finalmente van a rodear al material pétreo con el cual vamos a trabajar, formando la capa asfáltica una vez que esté adherida a la superficie. Durante este proceso, el agua de la emulsión se separa de la fase asfáltica cuando ya se empieza a trabajar con el material pétreo, este es el proceso de coalescencia.

Se debe de considerar que la aplicación en zonas de altas temperaturas, la emulsión asfáltica tiende a reaccionar más rápido con el agregado, acelerando

su proceso de rotura, mientras que en zonas frías la emulsión va a demorar un poco más en romper.

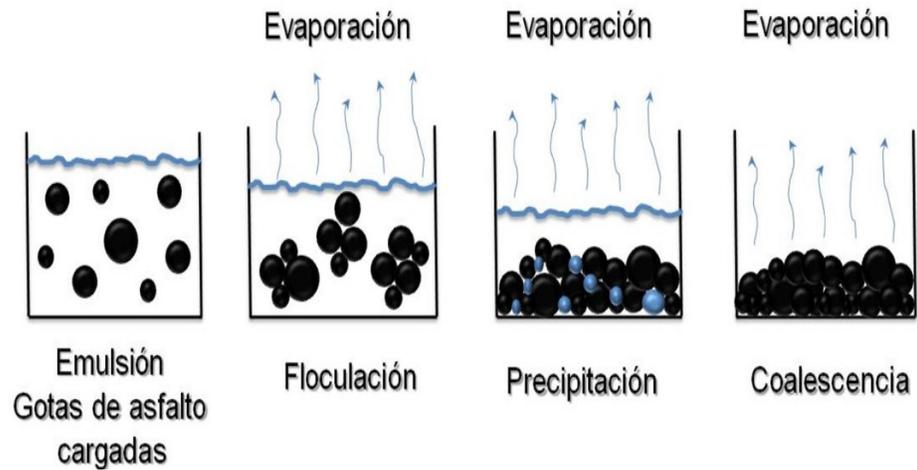


Figura 10: Proceso de rotura de una emulsión asfáltica

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales – Universidad de Costa Rica (2022)

e) Etapas del rompimiento de la emulsión asfáltica

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales – Lanamme (2022) de la Universidad de Costa Rica considera las siguientes etapas para la rotura de la emulsión asfáltica:

- Cremado

Las partículas de asfalto se acumulan en la superficie de la emulsión, para dar paso a la precipitación.

- Sedimentación

Se genera una concentración de partículas en el fondo de la emulsión. Este es un proceso reversible.

- Floculación

Los glóbulos del asfalto se van juntando, generando rozamientos que harán que el emulsificante de la emulsión pierda partículas.

- Coalescencia

Se forman partículas de asfalto más grandes y más pesadas, lo cual genera el rompimiento de la emulsión asfáltica.

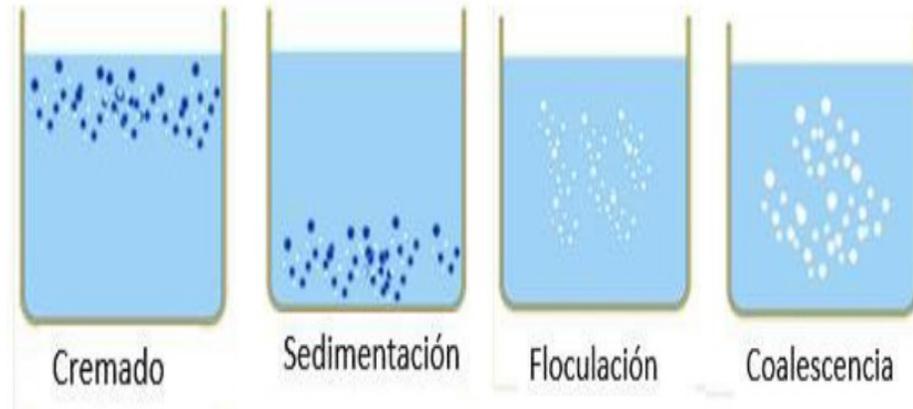


Figura 11: Etapas del rompimiento de la emulsión asfáltica

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales – Universidad de Costa Rica (2022)

f) Curado de la emulsión asfáltica

El curado de una emulsión asfáltica se da cuando toda el agua ha sido totalmente evaporada al medio ambiente. Debido a que ya no hay un medio acuoso presente, las gotas de asfalto van a poder desarrollar las propiedades del cemento asfalto base. Las condiciones climáticas también son un factor que puede afectar la velocidad de curado. En zonas cálidas, la evaporación del agua será más rápida, por lo que el curado demorará menos en darse. Lo contrario sucede en zonas frías, donde el curado tomará un poco más de tiempo. En las aplicaciones de mortero asfáltico o micropavimento, se suele pasar un rodillo para lograr la expulsión de agua aún presente, para poder acelerar el proceso de curado.

g) Ensayos de control de calidad

Los siguientes ensayos se realizan a la emulsión asfáltica:

- Viscosidad Saybolt Furol

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este es un ensayo que mide la resistencia al flujo de un líquido. Es una manera también de medir la trabajabilidad de nuestro ligante asfáltico. Dependiendo del tipo de rotura de emulsión que vayamos a emplear, se ensayará a las temperaturas de 25 o 50°C.

- Carga de partícula

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este es un ensayo que identifica la carga de los glóbulos de asfalto que están dispersos en el agua. Si la carga de partícula es positiva, estos se adherirán al cátodo, siendo una emulsión catiónica. Si la carga de partícula es negativa, se adherirán al ánodo, siendo una emulsión aniónica.

- Prueba del tamiz (retenido en la malla N°20)

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo evalúa el grado de floculación, o formación de grumos, debido a contaminantes o una mala fabricación de la emulsión asfáltica. Un porcentaje alto de material retenido en la malla N°20 puede indicar que se tendrá dificultades en la trabajabilidad de la emulsión asfáltica.

- Residuo asfáltico

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo determina el contenido de asfalto, en porcentaje, que conforma la emulsión asfáltica.

- Sedimentación en emulsiones asfálticas

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo determina la capacidad que tendrá una emulsión asfáltica de que sea estable. Es decir, para que permanezca como un medio disperso uniforme mientras se encuentre almacenado.

Los siguientes ensayos se realizan al residuo de la emulsión asfáltica:

- Penetración

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo clasifica al ligante asfáltico, de acuerdo a su consistencia. Con esta clasificación determinamos si nuestro asfalto es blando (soft) o duro (hard), con el cual, dependiendo del clima de la zona de aplicación, podremos seleccionar con cual tipo de asfalto poder trabajar y formular nuestra emulsión asfáltica.

- Ductilidad

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo determina el estiramiento de una muestra de ligante asfáltico, a través de un ductilómetro, hasta que la muestra se rompa.

- Solubilidad en tricloretileno

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo permite identificar la cantidad de contaminantes que posee el ligante asfáltico.

h) Aplicaciones

El Instituto del Asfalto, a través de su manual MS-19 Emulsiones Asfálticas, indica que las emulsiones asfálticas, de acuerdo a su tipo de rotura, tendrán unos usos específicos. Generalmente, las emulsiones de rotura rápida son usadas para la aplicación de riegos, tales como los tratamientos superficiales, sellos de arena y tratamientos de superficies.

Las emulsiones de rotura media, a diferencia de las de rotura rápida, tendrán un mayor tiempo de mezcla con los agregados y se podrán usar para el diseño de mezclas asfálticas en frío, siempre y cuando no se tenga mucho fino en su composición granulométrica.

Las emulsiones de rotura lenta se caracterizan por lograr mezclas estables como el Slurry Seal. A diferencia de la emulsión de rotura lenta, se puede emplear con granulometría con mucho fino o que sean cerradas, ya que es una emulsión más estable y podrá generarse la mezcla. Con este tipo de emulsión, de forma diluida en agua, puede aplicarse para riego de liga y riego de polvo (fog seal).

Las emulsiones de rotura controlada tienen un uso para el diseño de micropavimentos. A diferencia de la emulsión de rotura lenta, esta contiene un aditivo controlador de rotura con el cual puede acelerar la apertura al tráfico luego de una aplicación de micropavimento.

A continuación, en la siguiente tabla se especifica el uso de cada tipo de emulsión:

Tabla 5.1 Usos Generales de las Emulsiones Asfálticas

Tipo de Construcción	ASTM D977 AASHTO M208							ASTM D2397 AASHTO M 140							
	RS-1	RS-2	HFMS-2	MS-1, HFMS-1	MS-2, HFMS-2	MS-2h, HFMS-2h	HFMS-2t	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h
Mezclas de Asfalto / Agregados:															
Mezcla en Planta (en Caliente)						X ^A									
Mezcla en Planta (en Frio)															
Granulometría Abierta				X	X							X	X		
Granulometría Cerrada							X	X	X					X	X
Arena							X	X	X					X	X
Mezclado In-situ															
Granulometría Abierta				X	X							X	X		
Agregado bien Graduado							X	X	X					X	X
Arena							X	X	X					X	X
Suelo Arenoso							X	X	X					X	X
Aplicaciones de Asfalto y Agregado															
Tratamientos Superficiales (Simples y Múlti)	X	X	X							X	X				
Se Sellado con Arena (Sand Seal)	X	X	X	X						X	X				
Lechada Asfáltica (Slurry Seal)							X	X	X					X	X
Micro-aglomerado (Micro-surfacing)															X ^F
Sellado Doble (Sandwich Seal)		X	X								X				
Cape Seal		X									X				
Aplicaciones Asfálticas															
Riego Pulverizado (Fog Seal)				X ^B				X ^C	X ^B					X ^D	X ^E
Imprimación (Prime Coat)					X ^B			X ^B	X ^B					X ^D	X ^E
Riego de Liga (Tack Coat)				X ^B				X ^C	X ^C					X ^D	X ^E
Pallativo de Polvo (Dust Palliative)								X ^C	X ^C					X ^D	X ^E
Protección con Asfalto (Mulch treatment)								X ^C	X ^C					X ^D	X ^E
Sellado de Fisuras (Crack filler)								X	X					X	X
Mezclas de Mantenimiento															
Uso Inmediato							X					X	X		
Acopio							X								
^A pueden emplearse otros grados que el HFMS-2t cuando la experiencia demuestra que han tenido un comportamiento satisfactorio ^B diluido en agua por el fabricante. ^C diluido con agua. ^D mezclado sólo para imprimación. ^E el polímero debe incorporarse durante o previamente a la emulsificación.															

Figura 12: Aplicación de las emulsiones asfálticas
 Fuente: Instituto del asfalto MS-19 emulsiones asfálticas (2000)

i) Emulsión asfáltica modificada con polímeros

La incorporación de polímeros en una emulsión asfáltica hace que mejore su reología, así como también sus propiedades viscoelásticas. Huanca Cusi (2013) menciona que, a raíz de la modificación con polímeros, se mejora propiedades como la elasticidad, flexibilidad, consistencia y durabilidad, con el objetivo de prolongar el tiempo de vida útil de una mezcla asfáltica, sea de la tecnología en frío o caliente.

La modificación con polímero de una emulsión asfáltica puede realizarse mediante la incorporación en la solución jabonosa. En este proceso, el polímero es presentado en un estado líquido en forma de látex, el cual será agregado durante el proceso de elaboración de la solución jabonosa. El otro proceso de incorporación de polímeros es mediante al cemento asfáltico, en donde el polímero que se encuentra en forma de pellets, es añadido al cemento asfáltico mediante procesos de modificación al asfalto, para que posteriormente este sea emulsionado.

Chávez Roldán (2020) menciona las siguientes ventajas respecto del uso de una emulsión asfáltica con polímero en un Slurry Seal:

- ✓ Mejor cohesión y adhesión
- ✓ Mayor durabilidad
- ✓ Mayor resistencia a la abrasión
- ✓ Mayor resistencia a la exudación

La nomenclatura de una emulsión modificada con polímero es similar al de una emulsión asfáltica convencional, solamente añadiendo una “p” en referencia al uso de polímero.

Especificaciones para emulsiones catiónicas con polímeros

Tipo	Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta		Norma	
	CRS-1P		CRS-2P		CMS-1P		CMS-2P		CSS-1P			
	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.		
Pruebas sobre Emulsiones:												
- Viscosidad Saybolt Furo a 29°C	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	MTC E 6430-00	
- Viscosidad Saybolt Furo a 59°C	20	-	20	-	20	-	20	-	-	-	MTC E 404-00	
- Estabilidad de Almacenamiento, 24h, % ⁽¹⁾	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1		
Carga de partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		MTC E 407-00	
Residuo de evaporación, %	60		65		59		57		60		MTC E 411-00	
Sedimentación (a los 7 días), %	5		5		5		5		5		MTC E 404-00	
Prueba de tamiz, %	0,1		0,1		0,1		0,1		0,1		MTC E 405-00	
Mezcla con Cemento, %									2,0		MTC E 410-00	
- Revestimiento y Resistencia al agua:											MTC E 409-00	
- Revestimiento agregado seco					Bueno		Bueno					
- Revestimiento, agregado seco después del rociado					Aceptable		Aceptable					
- Revestimiento, agregado húmedo					Aceptable		Aceptable					
- Revestimiento, agregado húmedo después del rociado					Aceptable		Aceptable					
Pruebas sobre el residuo de evaporación:											MTC E 411-00	
- Penetración, 25°C, 100 g, 5s	100 ⁽¹⁾	200 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	200 ⁽¹⁾	100	220	50	90	100	150	MTC E 304-00	
	50 ⁽¹⁾	90 ⁽¹⁾	50 ⁽¹⁾	90 ⁽¹⁾					50 ⁽¹⁾	90 ⁽¹⁾		
- Punto de ablandamiento (A y B), °C	45		45		40		40		45		MTC E 307-00	
- Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm											≥ 10	MTC E 306-00
- Recuperación elástica, 25 °C, %											≥ 30	ASTM D 6984
- Recuperación elástica, 25 °C, por torsión, %											≥ 20	MTC E 320-00

Nota: ⁽¹⁾ En función a las condiciones climáticas del Proyecto se definirá uno de los grados indicados (50-90 ó 100-200 ó 100-150)

Fuente: ASTM D 2397 y NTP 321.141 (2003) y AASHTO T 316.

Figura 13: Especificaciones técnicas de una emulsión asfáltica catiónica modificada con polímeros

Fuente: Especificaciones técnicas de carreteras - MTC (2013)

Emulsiones modificadas de rotura rápida.

- CRS-1p
- CRS-2p

Emulsiones modificadas de rotura media.

- CMS-1p

Emulsiones modificadas de rotura lenta.

- CSS-1p

Emulsiones modificadas de rotura controlada.

- CQS-1p

Figura 14: Nomenclatura de emulsiones asfálticas modificadas con polímeros

Fuente: Chávez Roldán (2020)

2.3.5. Elaboración de emulsión asfáltica en laboratorio

Huanca Cusi (2013) menciona que, para la preparación de una emulsión asfáltica, ya sea en laboratorio o en planta, es necesario contar con un molino coloidal. Es a través de este equipo donde el asfalto es dividido en partículas demasiado pequeñas, la cual el tamaño de estas gotas (1 a 10 µm) dependerá de la energía mecánica que suministre el molino coloidal.

- Preparación de la solución jabonosa

La solución jabonosa está conformada por el agua, emulsificante y ácido clorhídrico. Ulloa (2012) indica que el molino coloidal debe pre-acondicionarse antes de su uso para elaborar la emulsión asfáltica, y para ello, al molino coloidal se le debe de echar agua a 60°C para pre-calentarlo y evitar la pérdida de temperatura en los ingredientes de la emulsión asfáltica y pueda afectar algunas de sus propiedades. Además, es necesario usar parte del total de la solución jabonosa producida para el proceso de pre-acondicionamiento, por ello es que por experiencia se debe de producir unos 1000 ml de este material, el cual el 60% será utilizado para esta actividad previa a la producción de emulsión asfáltica.

Para la elaboración de solución jabonosa, se deberá seguir el siguiente procedimiento:

- ✓ El agua es calentada entre 60 a 85°C para posteriormente ser pesado, obteniendo la cantidad requerida de la siguiente figura:

Ingrediente	Rangos de dosificación (%)			
	CRS	CMS	CSS	CQS
Asfalto	65	60	60 - 65	60 - 65
Emulsificante	0.1 - 0.25	0.4 - 0.6	1.5 - 2.5	0.8 - 1.8
Polímero (Aditivo) (sobre el peso del asfalto)	-	-	3	3
Agua	Hasta completar el 100% = $100 - \sum / \% \text{Asfalto} + \% \text{Emulsificante} + \% \text{Polímero}$			
Ácido (HCl ó H ₃ PO ₄)	2 - 4	2 - 3	1.5 - 2.5	1.5 - 2.5
Fase jabonosa (Agua, Emulsificante y ácido)	100 - % Asfalto			

Figura 15: Rangos de dosificación de una emulsión asfáltica

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (2022)

- ✓ Seguidamente, se añadirá el emulsificante considerando el cálculo a partir de la formulación inicial. Hay que considerar que el emulsificante puede estar a temperatura de ambiente o entre el rango de 50 a 60°C.
- ✓ Añadir el ácido clorhídrico, hasta obtener el Ph deseado de la solución jabonosa.

✓ Finalmente, se debe llevar al horno y mantenerla entre una temperatura de 60 a 85°C, antes de que se proceda a combinar con el asfalto.

- Preparación del asfalto

Se debe de calentar el asfalto, con el objetivo de disminuir su viscosidad para que sea trabajable y fácil de poder manipular, considerando la temperatura establecida en su carta de viscosidad-temperatura. El asfalto al mezclarse con la solución jabonosa, y para que el agua no se evapore y genere un proceso de rotura muy rápido, no debe de superar los 85°C de temperatura. Generalmente, temperaturas mayores a los 100°C generará los inconvenientes mencionados previamente.

- Proceso de emulsificación

La emulsificación podrá realizarse una vez que el asfalto y la solución jabonosa estén en condiciones óptimas de operación. Una vez con el molino coloidal ya acondicionado y curado, se cierra la válvula del equipo y se procede a agregar la solución jabonosa elaborada. El motor del molino coloidal es activado y se deja circular por un determinado tiempo la solución jabonosa. Posteriormente y con el equipo en marcha, se empieza a agregar el asfalto, la cual su adición no debe durar más de un minuto para evitar problemas de exceso de tamaño de partículas o algún sobrecalentamiento del equipo. Finalmente, se abre la válvula del equipo y se retira la emulsión asfáltica producida, verificando que su temperatura final no exceda los 85°C.

- Almacenamiento y acondicionamiento

La emulsión asfáltica producida es pasada a un recipiente plástico con tapa, el cual debe ser lo más esbelto posible para que no esté expuesto al aire y no pierda volátiles o que el agua evapore rápidamente, afectando a su estabilidad.

Si queremos formular una emulsión de rotura lenta (CSS), la emulsión asfáltica obtenida debe ser acondicionada en horno a 60°C, durante 18 a 24 horas.

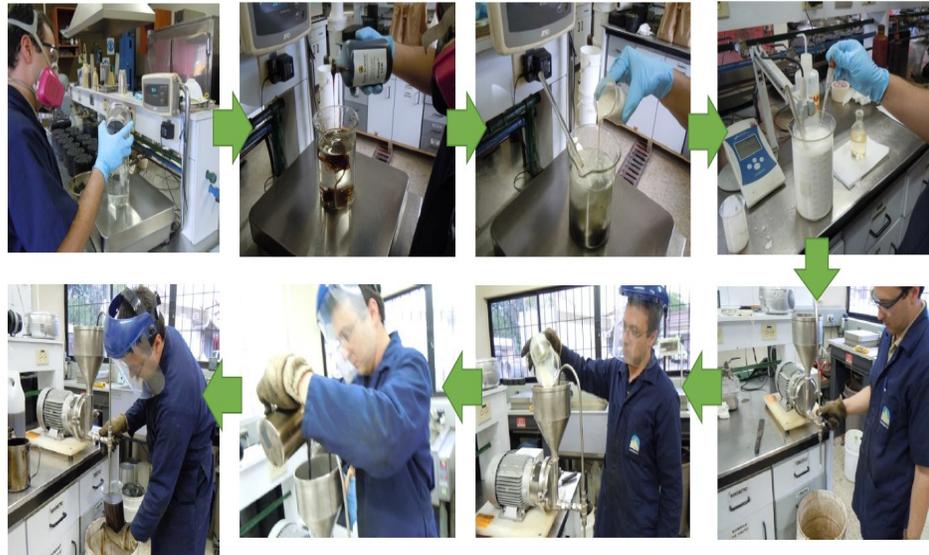


Figura 16: Elaboración de una emulsión asfáltica en laboratorio
Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (2022)

2.3.6. Agregados

Conforma gran parte de un Slurry Seal, teniendo influencia en la resistencia y durabilidad de la mezcla. Estos pueden ser un material pétreo o un material proveniente de la desintegración natural o artificial. Los agregados deben estar libres de cualquier tipo de contaminante, para proveer una correcta adherencia con el ligante asfáltico que se utilizará y no tener problemas de recubrimiento.

La gradación del agregado que se utilizará para la elaboración de un Slurry Seal debe encajar en los husos granulométricos propuestos. A continuación, en las siguientes tablas se muestra el huso granulométrico propuesto por la ISSA, el cual también aparece en las Especificaciones Técnicas de Carreteras del MTC:

Sieze Size	TYPE I PERCENT PASSING	TYPE II PERCENT PASSING	TYPE III PERCENT PASSING	SOTCKPILE TOLERANCE FROM THE MIX DESING GRADATION
0.375 (9.5mm)	100	100	100	
#4 (4.75mm)	100	90 - 100	70 - 90	±5%
#8 (2.36mm)	90 - 100	65 - 90	45 - 70	±5%
#16 (1.18mm)	65 - 90	40 - 70	28 - 50	±5%
#30 (600 um)	40 - 65	30 - 50	19 - 34	±5%
#50 (300 um)	25 - 42	18 - 30	12 - 35	±4%
#100 (150 um)	15 - 30	10 - 21	7 - 18	±3%
#200 (75 um)	10 - 20	5 - 15	5 - 15	±2%

Figura 17: Huso granulométrico para el Slurry Seal
Fuente: International Slurry Surfacing Association (2020)

Los agregados a utilizar para la elaboración de una mezcla de Slurry Seal deberán de proceder de la trituración, en su totalidad, de piedra de cantera o, parcialmente, de fuentes naturales. La fracción correspondiente a arena natural no debe de exceder del 25% en total de masa del agregado combinado (MTC, 2013).

a) Clasificación

Los agregados pueden clasificarse de acuerdo a su naturaleza, forma y tamaño.

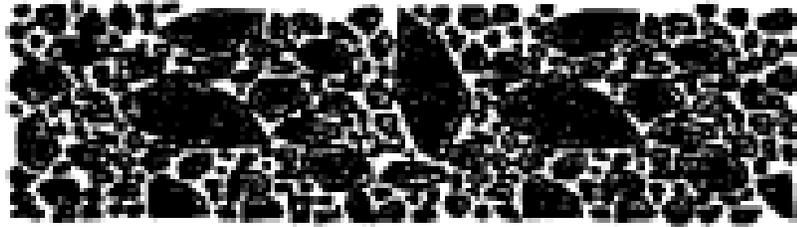
- Por su naturaleza

Pueden ser agregados de origen natural o bien pueden ser artificiales. Los agregados naturales son aquellos que son fragmentados por procesos naturales y pueden obtenerse en depósitos fluviales y eólicos; mientras que los agregados artificiales provienen de un proceso de transformación de materiales naturales, que alteran sus propiedades químicas y físicas.

- Por su forma

Puede clasificarse como agregado angular, también llamado agregado cúbico. Generalmente son obtenidos por un proceso de trituración al agregado. Es recomendado su uso para la elaboración de mezclas asfálticas debido a que tiene una textura rugosa, lo cual favorece el

intertrabamiento entre las partículas, formando una fuerte masa de material que ofrece una mayor resistencia que los agregados redondeados.



Agregado cúbico

Figura 18: Agregado cúbico
Fuente: Manual del Instituto del Asfalto (2000)

El agregado redondeado generalmente es el agregado natural. No es recomendado una cantidad alta de este tipo de agregado para la elaboración de mezclas asfálticas, ya que las partículas redondeadas tienden a deslizarse cuando están una sobre otra, siendo la mezcla susceptible a la deformación permanente al momento que deban soportar una carga.



Agregado redondeado

Figura 19: Agregado redondeado
Fuente: Manual del Instituto del Asfalto (2000)

- Por su tamaño

El agregado grueso es la porción que es retenido en la malla N°4 y que es proveniente de la desintegración de las rocas. Puede ser clasificado como grava y piedra chancada. Mientras que el agregado fino es la porción que es pasante de la malla N°4 y queda retenido en la malla N°200, siendo la

arena que proviene de la desintegración de las rocas como el material más usual.

b) Ensayos de control de calidad

Los agregados que se van a utilizar para la elaboración de las mezclas de Slurry Seal van a estar expuestos a agentes atmosféricos y a la acción abrasiva producto del tránsito vehicular, por lo que se va a requerir que estos sean de muy buena calidad a fin de que no se deterioren de manera rápida, evitándose también deterioros que puedan afectar al Slurry Seal durante su tiempo de servicio. Las Especificaciones Técnicas de Carreteras 2013 del MTC establecen estos parámetros de calidad para el Slurry Seal:

Requerimientos para los agregados

Ensayos	Norma	Requerimiento
Pérdida en Sulfato de Mg	MTC E 209	18% máx.
Desgaste Los Ángeles	MTC E 207	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	NP
Equivalente de Arena ⁽¹⁾	MTC E 114	40% min.
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.
Adherencia (Riedel Weber) ⁽²⁾	MTC E 220	4 min.

⁽¹⁾ El equivalente de arena será el del agregado finalmente obtenido mediante la combinación de las distintas fracciones, según las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo y antes de la incorporación del polvo mineral de aporte.

⁽²⁾ Corresponde al desprendimiento inicial

Figura 20: Requerimientos del agregado para Slurry Seal
Fuente: Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas (2013)

- Pérdida en Sulfato de Magnesio

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo determina la resistencia del agregado a la desintegración por medio de soluciones como el sulfato de magnesio. Nos indica la calidad del agregado que estarán sometidos bajo la acción de agentes atmosféricos.

- Desgaste Los Ángeles

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo busca garantizar la resistencia al desgaste y degradación de los

agregados, que se dan durante las etapas de producción, colocación y vida útil del Slurry Seal.

- Índice de plasticidad

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo busca restringir el uso de materiales plásticos compresibles, deformables y susceptibles al cambio de su volumen con la variación de su humedad.

- Equivalente de arena

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo nos otorga un índice de presencia de arcillas y/o finos plásticos en una muestra de agregado. La presencia de estos materiales nocivos compromete la correcta adherencia del ligante asfáltico con el agregado, así como también pueden llevar a la rotura rápida de la emulsión asfáltica que estemos utilizando, sin que se haya producido un correcto mezclado. Mientras mayor sea el valor de equivalente de arena, menor presencia de estos materiales nocivos.

- Azul de metileno

Quispe Espinoza (2021) indica que este ensayo nos permite caracterizar la fracción de arcilla de una muestra suelo o agregado. Asimismo, también nos indica que tan reactivo puede ser nuestro material. El tener un material muy reactivo hará que la emulsión asfáltica que estemos utilizando rompa muy rápido, impidiendo su mezclado con el agregado. El tener resultados de equivalente de arena muy bajos, hará que el resultado de este ensayo sea mayor.

- Adherencia (Riedel Webber)

El Manual de Ensayos de Laboratorio del MTC (2016) indica que este ensayo determina el grado de adhesividad que tiene el agregado fino con el ligante asfáltico que se va a utilizar.

2.3.7. Fibra de vidrio

Coronado y Maguiña (2019) indican que la fibra de vidrio “se compone de varios filamentos muy finos de vidrios acumulados con algunas resinas que, al trenzarse, dan como resultado una estructura suficientemente fuerte para ser empleada como refuerzo de estructura de otros materiales”.

Irías Pineda (2013) menciona que la fibra de vidrio es un material que está formada por hebras delgadas que son hechas a base de sílice o también mediante formulaciones de vidrio, las cuales deberán por un proceso con el que se crean objetos de sección transversal definida. De esta forma, se obtiene filamentos que poseen un diámetro pequeño y que están aptos para la fabricación. La fibra de vidrio es un material aislante al fuego y que tiene un comportamiento muy parecido a otros materiales que son hechos a base de fibra y polímero.



Figura 21: Fibra de vidrio
Fuente: Ponce, Quispe (2019)

a) Propiedades

La fibra de vidrio se caracteriza por ser un material que es resistente a la alcalinidad y acides, ideal para su aplicación en mezclas de tecnología en frío como lo son el Slurry Seal y Micropavimento.

De acuerdo con Forta (2021), la fibra de vidrio posee la característica de ser un material inerte con las emulsiones asfálticas, agregados y polímeros. Así, estamos asegurados de que se genere una correcta dispersión y de forma homogénea dentro de nuestra mezcla de Slurry Seal o Micropavimento, evitando así la segregación.

La fibra de vidrio no es un material que sea perjudicial para la salud o genere contamine al medio ambiente, además de ser un material muy trabajable y fácil de transportar.

b) Características

- El material es de un vidrio con alta resistencia a la alcalinidad y acidez.
- Posee una conductividad eléctrica muy baja.
- Posee una resistencia química considerable alta.
- Viene en presentación de rollos.

c) Procedimiento de inyección de fibra de vidrio a Slurry Seal en campo

El equipo micropavimentador posee un compartimiento especial, en donde se va a adicionar la fibra de vidrio directamente desde su empaque. A través de un sistema de inyección, la fibra de vidrio irá adicionándose dentro de la mezcla de Slurry Seal antes de la aplicación. Generalmente se utiliza una proporción de 0.2% respecto al peso seco del agregado.



Figura 22: Inyección de fibra de vidrio
Fuente: Huamán Murillo (2021)

2.3.8. Slurry Seal

El Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (2016) indica que el Slurry Seal, también conocido como mortero asfáltico o lechada asfáltica, es una mezcla compuesta por emulsión asfáltica de rotura lenta o rotura controlada, agregados fino bien graduado, filler o relleno mineral y agua. Se usará aditivos en caso que se requiera acelerar el proceso de rotura de la emulsión.

La aplicación de un Slurry Seal nos permite impermeabilizar la carpeta asfáltica del pavimento que estamos interviniendo, así como también incrementar su resistencia al deslizamiento ya que estamos restaurando la superficie desgastada debido al tráfico vehicular, y, por consiguiente, estaremos también incrementando la funcionalidad del pavimento y su vida útil. También se pueden corregir fallas presentes en la carpeta asfáltica como el ahuellamiento, además de poder penetrar y sellar grietas, siempre y cuando estas fallas sean de una severidad baja.

Este tipo de tratamiento superficial puede ser aplicado en un máximo de 12 mm de espesor. Previo a su aplicación, se debe realizar la eliminación de partículas

sueltas en la superficie que se va a tratar, pudiendo aplicarse una compresora para tal actividad.

a) Componentes de un Slurry Seal

- Agregados

De acuerdo con el boletín ISSA A105 Norma de rendimiento recomendadas para Slurry Seal de asfalto emulsionado (2020), se usará un agregado de tamaño máximo 3/8" (9.5 mm) o N°4 (4.75mm). Estos deberán cumplir la granulometría propuesta por la ISSA o por el MTC en las Especificaciones Técnicas de Carreteras 2013, dependiendo del uso que se le dará. Además, deberá de cumplir el control de calidad establecido por la ISSA o por MTC.

- Emulsión Asfáltica

De acuerdo con el boletín ISSA A105 Norma de rendimiento recomendadas para Slurry Seal de asfalto emulsionado (2020), la emulsión asfáltica a utilizar será catiónica de rotura lenta (CSS-1, CSS-1h) o bien una de rotura controlada (CQS-1h). Estas pueden llevar un porcentaje de polímero o la inclusión de un aditivo acelerador de rotura, que disminuirá el tiempo de apertura al tráfico. Deben cumplir los parámetros de control de calidad estipulados en la Especificaciones Técnicas 2013 del MTC o lo establecido en ISSA.

- Agua

Es el que otorga la trabajabilidad a la mezcla. Tener un exceso de agua en la mezcla hará que la mezcla fluya y no obtenga sus características de resistencia, mientras que, si se tiene un déficit de agua en la mezcla, no se podrá mezclar los componentes del Slurry Seal. Debe cumplir los estándares de calidad especificados por la Norma Técnica Peruana (NTP).

- Filler mineral

Puede ser usado el cemento portland, cal hidratada o polvo proveniente de las rocas. Su porcentaje dentro del diseño de mezcla puede influir en el tiempo de rotura.

b) Clasificación

Se puede clasificar a los Slurry Seal, de acuerdo a las gradaciones establecidos por la ISSA A105, en Tipo I, II y III.

- Tipo I

De acuerdo con el boletín ISSA A105 Norma de rendimiento recomendadas para Slurry Seal de asfalto emulsionado (2020), es una mezcla más fina respecto a los otros tipos, con lo cual tiene la posibilidad de poder sellar las grietas presentes en la carpeta asfáltica. Se puede también corregir problemas moderados presentes en la superficie y relleno de huecos presentes en la superficie.

- Tipo II

De acuerdo con el boletín ISSA A105 Norma de rendimiento recomendadas para Slurry Seal de asfalto emulsionado (2020), es utilizada para poder rellenar huecos presentes en la carpeta asfáltica, corrigiendo problemas un poco más moderados y con la capacidad de poder sellar grietas.

- Tipo III

De acuerdo con el boletín ISSA A105 Norma de rendimiento recomendadas para Slurry Seal de asfalto emulsionado (2020), es una mezcla más gruesa. Generalmente es usada para vías con alto volumen de tránsito. Brinda un menor desgaste y una buena resistencia al deslizamiento.

c) Diseño de mezcla

Para la elaboración del diseño de mezcla del Slurry Seal, la ISSA TB 105A establece los siguientes parámetros y ensayos a realizar:

ENSAYO	ISSA TB NO.	ESPECIFICACIÓN
Tiempo de mezcla a 77°F (25°C)	TB 113	Controlable hasta 180 segundos mínimo
Consistencia de Slurry Seal	TB 106	0.79 - 1.18 pulgadas (2.0 - 3.0 cm)
Cohesion húmeda a 30 minutos mínimo (fraguado) a 60 minutos mínimo (fraguado)	TB 139 (Para sistemas de transito rapido)	12kg-cm mínimo 20kg-cm o mínimo de espin cercano
Decapado Húmedo	TB 114	Paso (90% mínimo)
Perdida por abrasion humeda remojo de una hora	TB 100	75g/ft ² (807 g/m ²) máximo
Asfalto excesivo por adherencia de arena LWT	TB 109 (critico en areas de transito pesado)	50g/ft ² (538 g/m ²) máximo

Figura 23: Especificaciones del Slurry Seal

Fuente: International Slurry Surfacing Association (2020)

- Tiempo de mezclado (ISSA TB 113)

De acuerdo con el boletín ISSA TB 113 Método de ensayo para determinar el tiempo de mezcla para superficies tipo Slurry (2017), con este ensayo se establece un aproximado de las proporciones adecuadas de los componentes necesarios para poder garantizar un tiempo de mezcla suficiente para la aplicación del producto, además de verificar la compatibilidad de estos.

- Consistencia (ISSA TB 106)

De acuerdo con el boletín ISSA TB 106 Método de ensayo para medir la consistencia de sellador tipo Slurry (2015), se mide la consistencia del Slurry Seal, recomendando una de 2.5 cm, para determinar el óptimo contenido de agua. La consistencia es la propiedad que tiene la mezcla para poder fluir.

- Decapado húmedo (ISSA TB 114)

De acuerdo con el boletín ISSA TB 114 Método de ensayo para decapado húmedo de mezcla de superficies curadas de tipo Slurry (2017), este

ensayo nos indica la posibilidad de desprendimiento que pueda provocar una desintegración prematura.

- Cohesión (ISSA TB 139)

De acuerdo con el boletín ISSA TB 139 Método de ensayo para determinar el desarrollo del endurecimiento y curado de sistemas de superficie de tipo Slurry mediante un comprobador de cohesión (2017), con este ensayo podemos determinar el tiempo en el cual las mezclas empezarán a curar para su apertura al tráfico. Se puede determinar el torque que soportará la mezcla asfáltica.

- Abrasión vía húmeda (ISSA TB 100)

De acuerdo con el boletín ISSA TB 100 Método de ensayo para la abrasión húmeda de sistemas de superficie tipo Slurry (2020), con este ensayo se establece el mínimo contenido de emulsión asfáltica para nuestra mezcla de Slurry Seal. También mide el desgaste que tendrá un Slurry Seal en condiciones húmedas.



Figura 24: Ensayo de Abrasión Vía Húmeda

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales – Universidad de Costa Rica (2016)

- Rueda Cargada (ISSA TB 109)

De acuerdo con el boletín ISSA TB 109 Método de ensayo para medir el exceso de asfalto en mezclas bituminosas mediante el uso de rueda cargada (2018), con este ensayo se establece el máximo contenido de emulsión asfáltica para nuestra mezcla de Slurry Seal, con el fin de evitar deformaciones bajo cargas de tráfico pesado.



Figura 25: Ensayo de Rueda Cargada

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales – Universidad de Costa Rica (2016)

d) Aplicación

Los Slurry Seal generalmente son un tipo de solución que se utiliza en el mantenimiento de carreteras que generalmente tienen algún tipo de desprendimiento o fisuras de una severidad baja o media. Previo a su aplicación, es necesario realizar un tratamiento de fisura, aplicando una mezcla emulsión asfáltica y agua con una debida dosificación. Seguidamente, se le aplicará una capa nivelante y finalmente se procederá a colocar la mezcla de Slurry Seal. En caso se observen unas fisuras o grietas más grandes o de una severidad alta, se procederá a realizar un fresado. En pavimentos económicos, donde generalmente se tiene un bajo volumen de

tránsito, no se suele colocar una carpeta asfáltica. Por ello, se suele estabilizar la base, ya sea con cemento (una solución mayormente utilizada), emulsión asfáltica o asfalto espumado. Posteriormente, se coloca un riego de imprimación para finalmente colocar una capa de Slurry Seal o Micropavimento, de tal forma que estas protejan la capa base granular.

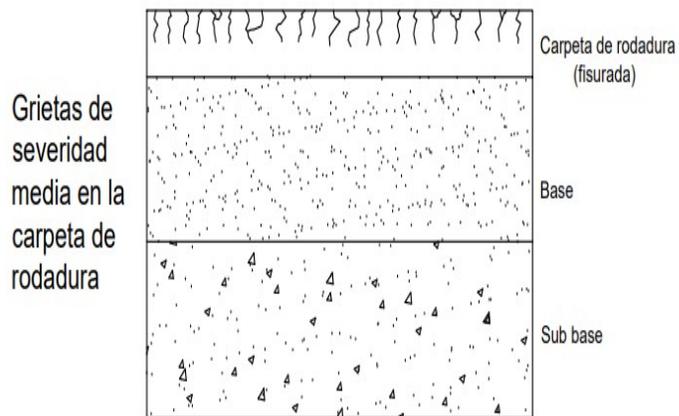


Figura 26: Pavimento flexible con fisuras en la carpeta de rodadura
Fuente: Elaboración propia (2022)

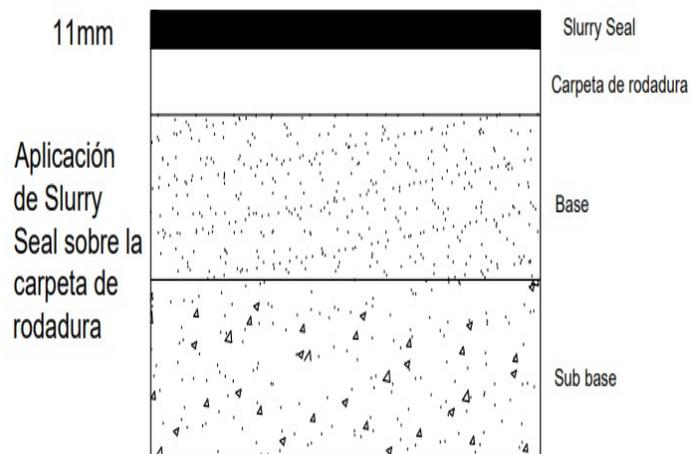


Figura 27: Pavimento flexible con Slurry Seal como tratamiento de superficie
Fuente: Elaboración propia (2022)

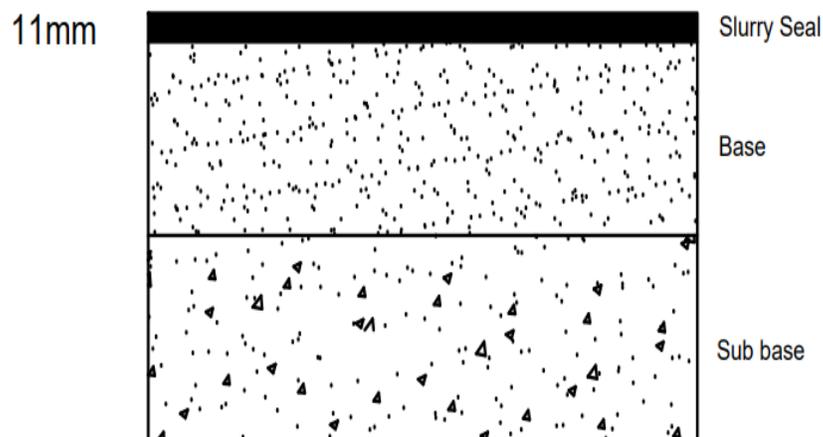


Figura 28: Estructura de un pavimento económico
Fuente: Elaboración propia (2022)

2.4. Definición de términos básicos

a) Rotura de la emulsión asfáltica

Quispe Espinoza (2021) la define como la separación de la fase acuosa con la fase asfáltica. La fase acuosa se evaporará parcialmente. Cuando la emulsión asfáltica entra en contacto con el agregado o superficie, inmediatamente comenzará a romper, de tal forma que no habrá un medio acuoso, haciendo que las gotas de asfalto se unan al agregado.

b) Curado

Quispe Espinoza (2021) menciona que es la evaporación total del agua. Durante el proceso de rotura, no toda el agua presente en la emulsión va a evaporarse, quedándose un pequeño porcentaje dentro de la mezcla luego de que haya sido aplicada.

c) Desgaste

La International Slurry Surfacing Association (2020) la define como la pérdida de agregado pétreo causada por la acción mecánica de un agente de fricción, que, en este caso, es el tránsito.

d) Deformación

Es definida como el cambio de forma o tamaño de un material debido a la acción de fuerzas externas o efectos de clima.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La inclusión de la fibra de vidrio a un Slurry Seal mejora el comportamiento de un Slurry Seal para actividades de mantenimiento vial en vías de alto volumen de tráfico.

3.1.2. Hipótesis específicas

- 1) La inclusión de fibra de vidrio mejora el comportamiento del Slurry Seal frente al desgaste.
- 2) La inclusión de fibra de vidrio mejora el comportamiento del Slurry Seal frente a la exudación.
- 3) La inclusión de fibra de vidrio disminuye el tiempo de apertura al tráfico.
- 4) La inclusión de fibra de vidrio influye en la obtención del contenido óptimo de emulsión asfáltica en el proceso de diseño de Slurry Seal.

3.2. Relación de variables

3.2.1. Identificación de variables

- Variable independiente
Fibra de vidrio
- Variable dependiente
Comportamiento de un Slurry Seal

3.2.2. Operacionalización de las variables

Ver Anexos

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo de investigación

El tipo de la investigación es descriptiva – correlacional. En el presente trabajo, primero se va a describir el comportamiento de un Slurry Seal convencional, sin ninguna adición. Luego, se correlaciona con la inclusión de fibra de vidrio al Slurry Seal y se describirá su comportamiento con esa adición.

4.2. Método de investigación

El método utilizado en el presente trabajo de investigación es deductivo, ya que la presente investigación inicia a partir de la teoría que se encuentra disponible, en lo que respecta a los Slurry Seal. Durante la elaboración de las muestras, se añadirá la fibra de vidrio respecto al peso seco del agregado, siendo un material integrante de la dosificación del Slurry Seal. A partir de la inclusión de fibra de vidrio, se busca analizar como estos influyen en el comportamiento de un Slurry Seal. Se plantean hipótesis respecto al impacto que causará la adición de fibra de vidrio en el comportamiento de la mezcla, obteniendo también conclusiones una vez analizado y comparado los resultados de cada uno de estos.

La investigación es de orientación aplicada ya que se parte del conocimiento teórico para la resolución de la problemática. Se busca estudiar el comportamiento del Slurry Seal con la inclusión de fibra de vidrio para el uso de mantenimiento de vías. Este tipo de tratamiento es muy utilizado en nuestro país para la actividad ya mencionada, en especial para vías importantes. Sin embargo, en los últimos años el tráfico ha ido aumentando, por lo que la solicitud de carga es mayor a lo estudiado durante la etapa de diseño. Estas nuevas solicitudes de carga deben ser también tomadas en cuenta, no solamente para cuando se diseña un nuevo pavimento, sino también para el mantenimiento de estas vías ya existentes. Por ello, con la adición de fibra de vidrio se pretende mejorar la resistencia del Slurry Seal frente al desgaste y exudación.

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que la recolección de datos proviene de la medición de las variables para probar las hipótesis planteadas

previamente. Se inicia con el planteamiento del problema general, el cual busca estudiar que tanto influirá la fibra de vidrio en el comportamiento de un Slurry Seal, para fines de actividades de mantenimiento vial. Se hizo revisión de la literatura existente tales como normativas (ISSA), fichas técnicas, libros, artículos e investigaciones, con los cuales se pudo elaborar el marco teórico. A raíz de la elaboración del marco teórico, se pudo plantear las hipótesis y variables de la presente investigación. Posteriormente se hizo la recolección de datos a través de resultados de ensayos de laboratorio, los cuales fueron procesados y analizados. Como se está estudiando la influencia de la fibra de vidrio en el comportamiento de un Slurry Seal, finalmente se realiza la interpretación de los resultados obtenidos.

4.3. Nivel de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo - explicativo. Se va a describir los ensayos realizados y sus resultados obtenidos de cada uno de ellos, tanto para la mezcla convencional y las mezclas con fibra de vidrio. De la misma manera, se va a explicar a partir de los resultados obtenidos como ha influido la adición de fibra de vidrio en el comportamiento del Slurry Seal. Para el nivel explicativo, Hernández se refiere a que está dirigido a responder las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Se enfoca en dar explicación al por qué sucede un fenómeno o el por qué se relacionan las variables consideradas.

4.4. Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es netamente experimental – longitudinal - prospectivo. Hernández (2014) refiere al diseño experimental como la manipulación de una o más variables independientes, las cuales son consideradas como la supuesta causa en una relación entre variables. En este caso, se va a manipular la variable independiente (fibra de vidrio), el cual será añadida al Slurry Seal, con el fin de estudiar el efecto que resultará de esta adición, en el comportamiento del Slurry Seal (variable dependiente).

La presente investigación también es longitudinal debido a que se van a elaborar diferentes muestras de Slurry Seal, siendo la convencional la denominada muestra

patrón. Se elaborarán también muestra de Slurry Seal con fibra de vidrio, del cual sus valores serán comparados con los del Slurry Seal patrón. Es prospectivo también porque los resultados se van a obtener en laboratorio, a partir de la elaboración de las muestras de Slurry Seal.

4.5. Población de estudio

La población de estudio del presente trabajo de investigación está conformada por la mezcla de Slurry Seal convencional y las mezclas de Slurry Seal con fibra de vidrio.

4.6. Diseño muestral

Las muestras del trabajo de investigación son todos los ensayos que se van a realizar para evaluar el comportamiento del Slurry Seal.

4.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.7.1. Técnica de recolección de datos

En el presente trabajo de investigación se estudiará y analizará el comportamiento de Slurry Seal con inclusión de fibra de vidrio, por lo cual, se realizarán los siguientes ensayos para la evaluación:

ISSA TB 100: Laboratory Test Method for Wet Track Abrasion of Slurry Surfacing Systems

ISSA TB 109: Test Method for Measurement of Excess Asphalt in Bituminous Mixtures by Use of a Loaded Wheel Tester and Sand Adhesion

ISSA TB 106: Measurement of Slurry Seal Consistency

ISSA TB 139: Cohesion

Previo a la realización de los ensayos con los que se evaluará el comportamiento del Slurry Seal, se hará un control de calidad a los agregados con los que se va a trabajar, realizando los siguientes ensayos:

MTC E 114: Equivalente de Arena para Agregado Fino

MTC E 204: Análisis Granulométricos de Agregados Gruesos y Finos

AASHTO TP57: Azul de Metileno

MTC E 220: Adherencia Riedel-Webber

De igual forma, con la emulsión asfáltica ya formulada, se le hará su control de calidad con los siguientes ensayos:

MTC E 403 Viscosidad Saybolt Furol a 25°Cs

MTC E 404 Estabilidad de Almacenamiento

MTC E 405 Prueba de Tamiz

MTC E 407 Carga de Partícula

MTC E 411 Porcentaje de Residuo

Para el control de calidad sobre el residuo asfáltico de la emulsión, se realizarán los siguientes ensayos:

MTC E 302 Solubilidad en Tricloretileno

MTC E 304 Penetración

MTC E 306 Ductilidad

4.7.2. Instrumentos de recolección de datos

Para cada ensayo de control de calidad que se realice al agregado, se utilizarán los equipamientos que están especificados en cada normativa, las cuales fueron mencionadas en la subsección anterior.

De igual manera para los ensayos de control de calidad que se realizarán a la emulsión asfáltica y diseño de Slurry Seal, los instrumentos a usar para cada uno de estos serán los que estén especificados en cada norma correspondiente.

4.8. Procedimientos para la recolección de datos

Previo a la elaboración de las muestras de Slurry Seal, se realizará la evaluación al agregado con el que se trabajará, a fin de que cumpla con las especificaciones establecidas por la ISSA y/o Especificaciones Técnicas de Carreteras 2013 del MTC.

Una vez que se realizó la evaluación de calidad a los agregados y estos sean satisfactorios, se procede a formular la emulsión asfáltica que se utilizará para los diseños del Slurry Seal y a la vez también se debe realizar su control de calidad,

siguiendo lo establecido por las Especificaciones Técnicas de Carreteras 2013 del MTC.

Se procede a realizar el diseño teórico primero de la mezcla patrón de Slurry Seal, el cual será uno convencional sin ninguna adición de fibra de vidrio. Consecuentemente, se realizan el diseño de mezcla de Slurry Seal con la adición de fibra de vidrio. Se debe tener en cuenta que, durante la elaboración de las muestras, estos cumplan los parámetros establecidos por la ISSA en lo que respecta a tiempo de mezclado y consistencia. De igual forma, anotar los valores que se obtengan en los ensayos de Abrasión Vía Húmeda, Rueda Cargada y Cohesión para realizar la respectiva evaluación de cada tipo de muestra.

4.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos de la presente investigación consisten en la recopilación de datos mediante los ensayos de laboratorio que se van a realizar; la clasificación de datos de los resultados obtenidos, de acuerdo a cada tipo de mezcla de Slurry Seal que se tenga; procesamiento de información, generando cuadros y gráficas del comportamiento de Slurry Seal, con base a los resultados obtenidos.

Para analizar los datos, primero se verificará si los ensayos de control de calidad están cumpliendo lo establecidos de acuerdo a las especificaciones. Para ello, haremos uso de las Especificaciones Técnicas de Carretera 2013 del MTC. Para el diseño de mezcla del Slurry Seal y los parámetros que son exigidos, se hará uso de la normativa ISSA.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Desarrollo de la investigación

5.1.1. Ensayos para la caracterización del agregado

a) Análisis granulométrico

Se realiza un cuarteo para obtener una cantidad representativa de nuestro agregado. Para la realización de este ensayo, nuestro material debe estar lavado, totalmente seco y libre de impurezas. Se determina el peso retenido de nuestro material en cada tamiz, con lo cual se podrá realizar el cálculo del porcentaje de material pasante para cada tamiz, y, por ende, la curva granulométrica.



Figura 29: Tamices para realizar el análisis granulométrico
Fuente: Huari Quispe (2020)

b) Pérdida en sulfato de Magnesio

Se lava la muestra de agregado a través del tamiz N°50 y secarlo a 110°C hasta obtener una masa constante. Luego, separar los diferentes tamaños según el orden de tamices.

De las fracciones separadas como lo indicado anteriormente, seleccionar las muestras de tamaño suficiente para producir unos 100g después del tamizado hasta el rechazo.

Se procede a hacer el ciclo de durabilidad, el cual consiste en saturar los agregados mediante una solución de sulfato de magnesio, por un periodo de 16 horas. Luego, la decantación se realiza en un tiempo aproximado de 20 minutos para seguidamente hacer un secado en horno a 110°C hasta masa constante. Finalmente, se deja enfriar por 3 horas.

c) Equivalente de arena

Se selecciona el material por cuarteo, el cual será tamizado por el tamiz N°4, del cual tomaremos una muestra de 2 kg del material pasante.

Se introduce en las probetas la solución stock, hasta que alcance el nivel de 100 ml. Se introduce también en la probeta, el material que fue tamizado previamente, a través de un embudo. Se da unos golpes en la base de la probeta con el fin de eliminar las burbujas atrapadas.

Dejar reposar el material por un lapso de 10 minutos, se coloca un tapón y se empieza a realizar una agitación por 45 segundos.

Culminado el periodo de agitación, se procede a realizar la limpieza de las paredes internas de la probeta. Seguidamente, se deja sedimentar el material fino en un lapso de tiempo aproximado de 20 minutos para finalmente, realizar las lecturas.

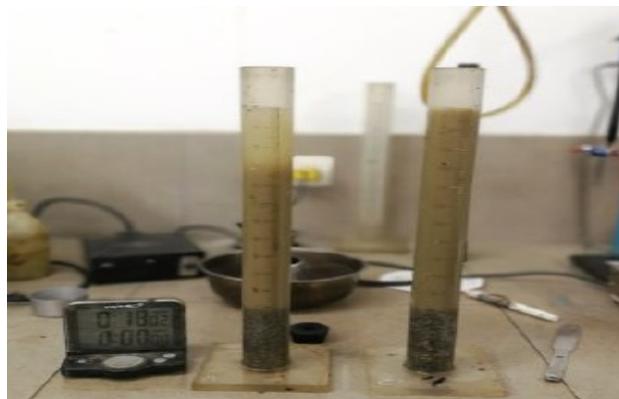


Figura 30: Ensayo de equivalente de arena
Fuente: Huari Quispe (2020)

d) Azul de metileno

Se aplica a la fracción granulométrica menor al tamiz N°10. Se obtiene una submuestra representativa por reducción de cuarteo y se seca, para luego tamizarlo por el tamiz N°10 hasta obtener una masa mínima de 200 gramos. Anotar el peso de la muestra.

Introducir en un vaso precipitado una cantidad aproximada de 500 ml de agua destilada y después introducimos la masa del agregado pasante del tamiz N°10.



Figura 31: Ensayo de azul de metileno
Fuente: Gutiérrez Abanto (2022)

Se añaden unos 5 ml de solución colorante a través de la bureta, en el lapso de 1 minuto de tiempo. Pasado el minuto, se hace la prueba de coloración, el cual consiste en coger una gota del fondo del vaso con una varilla de vidrio y depositarlo en un papel filtro. Si el resultado es una mancha azul oscuro y rodeada de una aureola incolora, se debe volver a agregar 5 ml de solución y realizar otra prueba, hasta que la mancha tenga una aureola de tonalidad azul claro y con un espesor de 1mm.

El ensayo finaliza cuando se ha mantenido la aureola de tonalidad azul claro y con medida de 1mm en un lapso de 5 minutos como mínimo.

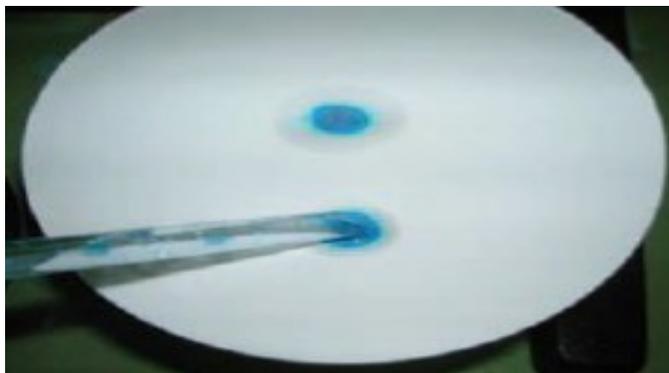


Figura 32: Prueba de coloración de azul de metileno

Fuente: Gutiérrez Abanto (2022)

e) Adherencia Riedel - Weber

Se tamizan 200 gramos de agregado fino por los tamices N°30 y N°70, desenchando posteriormente el material pasante al N°70 y retenido del N°30. La fracción de material obtenida se lava en el tamiz N°70 con agua para eliminar cualquier polvo que esté adherido al agregado. Posteriormente, secar a 145°C por el lapso de 1 hora o hasta tener masa constante.

Mezclar el agregado fino con la emulsión asfáltica a temperatura de ambiente hasta conseguir una masa homogénea. Una vez preparada la muestra, dejar enfriar a temperatura de ambiente por 1 hora.

Pesar unas 11 porciones de unos 0.50 gramos aproximadamente. Introducir cada porción a un el tubo de ensayo, las cuales estarán enumeradas del 0 al 10. Aproximadamente se introducirán unos 6 cm³ de agua destilada en cada tubo de ensayo ya con la muestra estando dentro. Sujetar los tubos con una pinza de madera y calentarlo hasta lograr una ebullición suave del agua, la cual debe mantenerse por 1 minuto aproximadamente.

Seguidamente, se hace la inspección visual de la muestra.



Figura 33: Ensayo de Riedel - Weber
Fuente: Gómez y Solano (2016)

5.1.2. Ensayos a la emulsión asfáltica

a) Viscosidad Saybolt Furol

La viscosidad es la resistencia al flujo de un líquido. Puede medirse como la trabajabilidad de la emulsión asfáltica.

Se debe revisar el equipo del viscosímetro, verificando que no haya ningún agente contaminante.



Figura 34: Viscosímetro
Fuente: Curso construcción de carreteras sostenibles (2020)

b) Carga de partícula

Se vierte una cantidad de emulsión asfáltica en un vaso, de tal manera que los electrodos puedan sumergirse sin tocar fondo. Conectar y encender el

aparato, inmediatamente sumergir los cables de electrodos dentro de la emulsión, sin que toque fondo.

Ajustar la corriente eléctrica a una intensidad de 8 miliamperios e iniciar la cuenta con un cronómetro. Luego de 30 minutos, desconectar el aparato y revisar el electrodo. Verificar que haya una cantidad de emulsión en el electrodo negativo.



Figura 35: Ensayo de carga de partícula
Fuente: Curso construcción de carreteras sostenibles (2020)

c) Sedimentación

Se coloca una muestra representativa de emulsión asfáltica en probetas, las cuales deberán ser tapadas herméticamente y dejadas en un lugar a temperatura de ambiente en un lapso por 5 días.

Luego, se procede a extraer 55 ml de emulsión de la parte superior de las probetas, mediante el uso de un sifón. Homogenizar las dos muestras tomadas y pesar aproximadamente 50 gramos de cada una de ellas en dos vasos de vidrio, someterlo en horno aproximadamente por 2 horas a temperatura de 163°C.

Enfriar las muestras y realizar el pesaje para determinar el residuo por evaporación.

Ensayos al residuo asfáltico de la emulsión

a) Penetración

Calentar 200 gramos del residuo asfáltico hasta que su consistencia sea fluida. Verter la muestra a un recipiente hasta una profundidad tal que cuando se alcance la temperatura de ensayo la profundidad de la muestra sea al menos 10mm mayor que la profundidad a la cual se espere que penetre la aguja.

Seguidamente, se debe cubrir cada recipiente para protegerlo de polvo o algún agente contaminante. Dejarlo enfriar a temperatura de ambiente entre el rango de 15 a 30°C por un tiempo aproximado de 2 horas. Luego, colocarlo en el baño de agua a la temperatura de ensayo y mantenerlo en un lapso aproximado de 2 horas.

Llevar al aparato de penetración las muestras de residuo asfáltico, en donde se le aplicará un peso de 50g de una aguja.

b) Punto de ablandamiento

Se prepara una muestra de ligante, calentándolo de forma cuidadosa y uniforme. Se colocó sobre un plato de bronce dos anillos del mismo material, este material es calentado y vertido con un ligero exceso, el cual se dejó enfriar por un tiempo de 30 minutos a temperatura ambiente. Luego, se enrasó el material de los dos anillos con ayuda de una espátula caliente y dejó nuevamente a una temperatura ambiente por el mismo tiempo.

Por otro lado, se preparó en un recipiente Glicerina (se llena según norma hasta una altura de 105 +- 3mm). Luego se insertó el montaje sujetador y los anillos dentro de las tenazas del sujetador, se colocó finalmente las bolas de acero en la parte central del anillo y a una velocidad constante de 5°C/min se elevó la temperatura, para finalmente realizar las anotaciones de temperatura cuando las bolas chocaron el fondo del sujetador.



Figura 36: Ensayo de punto de ablandamiento
Fuente: Estrada Escalante (2017)

c) Ductilidad

Este ensayo de ductilidad para material bituminoso, consiste en someter una probeta cargada de ligante asfáltico a una elongación (tracción) con velocidad y temperatura constante.

Se hizo la preparación del molde y placa de bronce, cubriendo con glicerina con talco todos los lados que tendrán contacto con el ligante asfáltico (para evitar que se quede adherido). Por otro lado, se calentó la muestra de ligante recuperado, hasta que la fluidez del material permita que se vierta sin inconvenientes sobre el molde de bronce (este proceso se tiene que realizar dejando un excedente de ligante sobre el molde para poder realizar el enrase). Una vez culminado este proceso de colocación de muestra sobre el molde, se dejó a temperatura ambiente por un periodo de 30 minutos. Luego se introdujo todo el accesorio dentro del ductilómetro a temperatura constante (25°C). Después, se tuvo que extraer la muestra para realizar el enrase del material excedente y poner otra vez todo el kit dentro del ductilómetro (ahora, por un tiempo de 1 hora y media). Finalmente, el estiramiento se realizó a una velocidad constante e hizo la lectura cuando se rompió la muestra de ligante (al que llamamos alcance de su máxima ductilidad).



Figura 37: Ductilómetro
Fuente: Estrada Escalante (2020)

5.1.3. Características de la fibra de vidrio

A continuación, se muestran las propiedades y características de la fibra de vidrio que se consideró para los cálculos del presente trabajo de investigación:

- Presentación: Cortado o en Rollos
- Gravedad específica: 2.68 g/cm³
- Material: Vidrio resistente al Alcalinidad y Acidez
- Punto de Ablandamiento: 860°C (1580°F)
- Conductividad eléctrica: Muy baja
- Resistencia Química: Muy alta
- Módulo de Elasticidad: 72GPa (10x10⁶ psi)
- Tensión de Rotura: 1700 MPa (250000 psi)

5.1.4. Diseño de Slurry Seal

a) Tiempo de mezclado (ISSA TB 113)

Se colocan unos 200 gramos de agregado en un recipiente, seguidamente se añade el filler mineral y se empieza a batir aproximadamente por unos 20 segundos, observando siempre que quede uniforme la distribución. Posteriormente, se agrega agua y se repite el proceso mencionado.

Una vez que se tenga una distribución uniforme, se procede a agregar la emulsión asfáltica y se mezcla por unos 30 segundos, hasta que la mezcla quede homogénea.

Luego de este mezclado inicial, se debe seguir realizando esta actividad y tomar nota del tiempo cuando ya la muestra empieza a romper.

Se debe anotar los porcentajes de cada insumo respecto al peso del agregado.

b) Ensayo de consistencia (ISSA TB 106)

Se mezclan 400 gramos con el contenido teórico de la emulsión asfáltica. Se irá variando el contenido de agua para cada muestra.

Posteriormente, la mezcla debe ser vertida a un cono. Esta se colocará sobre una hoja, el cual su formato está en el documento de la ISSA TB 106 y sirve para realizar la medición del flujo de la mezcla.

Se debe tomar nota del desplazamiento de la mezcla en la hoja mencionada.

Se recomienda un desplazamiento de 2.5 cm.

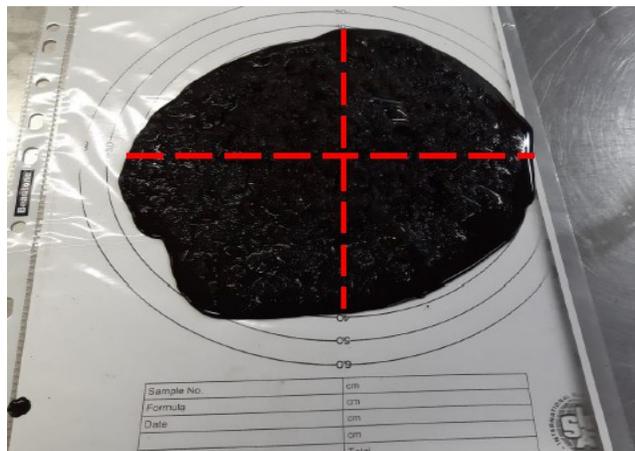


Figura 38: Ensayo de consistencia
Fuente: Quispe Espinoza (2021)

c) Ensayo de decapado en húmedo (ISSA TB 114)

Se debe obtener aproximadamente unos 10 gramos de mezcla curada, provenientes del ensayo ISSA TB 113 Tiempo de mezclado. Ese material obtenido hacerlo curar a temperatura de ambiente por unas 24 horas como mínimo.

Luego del curado, colocar la muestra en malla de alambre, de igual forma, se colocará agua destilada en un vaso de precipitación, la cual debe ser llevada a ebullición. Después de 3 minutos, retirar el vaso y dejarlo reposando por el lapso entre 1 a 2 minutos.



Figura 39: Ensayo de decapado en húmedo
Fuente: Quispe Espinoza (2021)

Llenar de agua el vaso de precipitación hasta que el asfalto pueda fluir por el costado. Luego, retirar la mezcla y secar sobre papel toalla, para posteriormente examinar y hacer la estimación de porcentaje de agregado que está revestido.



Figura 40: Secado de muestra
Fuente: Quispe Espinoza (2021)

d) Ensayo de abrasión en húmedo (ISSA TB 100)

Se preparan muestra de 800 gramos de agregados, a los cuales se les irá añadiendo diferentes porcentajes de emulsión y agua. Mezclar los insumos como lo indicado según ISSA TB 113 Tiempo de mezclado.

Los especímenes deben estar moldeados de forma circular y se deben dejar curar en horno a 60°C por 15 horas. Seguidamente, cada espécimen debe sumergirse en agua a 25°C por 1 hora.



Figura 41: Muestras para el ensayo de WTAT
Fuente: Quispe Espinoza (2021)

Añadir la muestra al equipo de abrasión y añadir agua hasta que se logre cubrir la muestra. Con el tubo de hule de la máquina, aplicar la abrasión, haciéndolo pasar por la muestra por un tiempo aproximado de 5 minutos. Retirar el espécimen del equipo de abrasión y lavarlo para poder eliminar las partículas que se desprendieron durante el ensayo. Secar las muestras en horno, hasta obtener una masa constante.



Figura 42: Máquina de ensayo de abrasión en húmedo
Fuente: Quispe Espinoza (2021)

e) Ensayo de rueda cargada (ISSA TB 109)

Se preparan muestras de 300 gramos de agregados, a los cuales se les irá añadiendo diferentes porcentajes de emulsión y de agua. Mezclar los insumos como lo indicado según ISSA TB 113 Tiempo de mezclado.

Una vez realizado la mezcla, se debe dejar curar las muestras por unas 15 horas a 60°C. Luego, se debe dejar enfriar a temperatura de ambiente y se toma el peso a masa constante.



Figura 43: Máquina de ensayo de rueda cargada
Fuente: Quispe Espinoza (2021)

Se colocan las muestras en el equipo de Rueda Cargada para posteriormente aplicarles una carga aproximada de 55 kg a través de 1000 ciclos. Una vez terminado los 1000 ciclos, se debe lavar las muestras con agua, eliminando las partículas que se desprendieron y teniendo el cuidado que no se desprendan otras partículas de agregado.

Se secan las muestras en horno a una temperatura de 60°C, hasta obtener masa constante, la cual anotamos como el peso inicial. Seguidamente, se colocan las muestras a la máquina de Rueda Cargada y se aplicarán 100 ciclos de carga de 55 kg aproximadamente. Se agregará 100 gramos de arena de Ottawa con el fin de que el asfalto exudado pueda adherirse, y, por diferencia de pesos, se pueda contabilizar la cantidad de asfalto que se exuda.



Figura 44: Arena adherida a las muestras de Slurry Seal
Fuente: Quispe Espinoza (2021)

Finalizado los 100 ciclos, se desmonta la muestra y se elimina el exceso de arena que no se ha adherido, para hacer un nuevo pesado a la muestra, el cual será anotado como peso final.

f) Ensayo de cohesión (ISSA TB 139)

Se hace un tamizaje al agregado a través del tamiz de 8mm. Se realiza la mezcla en un molde del ensayo mismo de diámetro de 10 mm.

La muestra es colocada en la máquina de ensayo, en el cual se le aplicará una presión de 200 Kpa aproximadamente y un torque.



Figura 45: Cohesiómetro
Fuente: Quispe Espinoza (2021)

5.2. Resultados de la investigación

5.2.1. Resultados de la caracterización de agregados

a) Análisis granulométrico

Para el presente trabajo de investigación, se considerará el huso granulométrico tipo III, el cual es contemplado para un tráfico pesado o vías de alto volumen de tráfico. El material cumple con las especificaciones del huso tipo III, planteado por la ISSA TB 105A.

Tabla N° 1
Granulometría de la muestra de agregado

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PORCENTAJE (%)			HUSO III	
		Retenido	Acumul.	Pasante		
3"	76.200					
2 1/2"	63.000					
2"	50.000					
1 1/2"	37.500					
1"	25.000					
3/4"	19.000					
1/2"	12.500					
3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0	100	100
# 4	4.750	15.7	15.7	84.3	70	90
# 8	2.360	27.0	42.7	57.3	45	70
# 16	1.180	18.2	60.9	39.1	28	50
# 30	0.600	12.2	73.1	26.9	18	34
# 50	0.300	8.9	82.0	18.0	12	25
# 100	0.150	5.1	87.1	12.9	7	17
# 200	0.075	6.2	93.3	6.7	5	11
>200		6.7	100.0			

Fuente: Elaboración propia (2022)

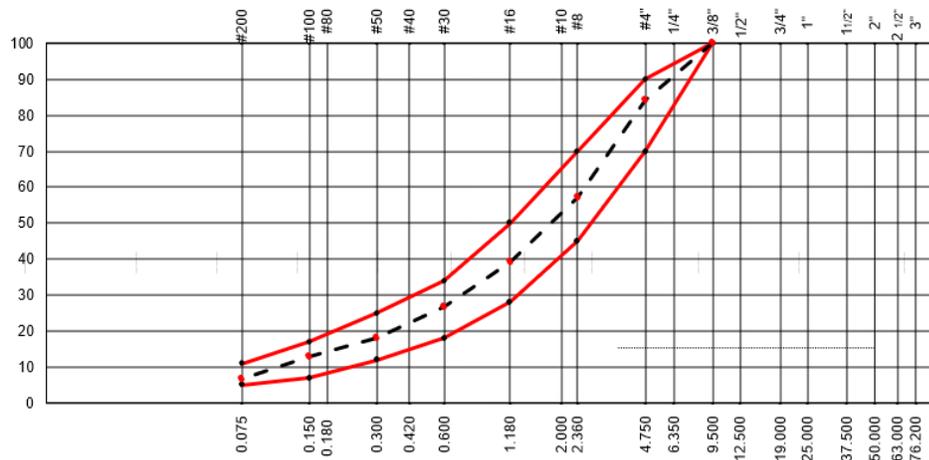


Figura 46: Curva granulométrica
Fuente: Elaboración propia (2022)

b) Equivalente de arena

De acuerdo con las EG 2013, el valor mínimo de equivalente de arena es de 40%. Para el estudio de la presente cantera, se obtuvo un valor promedio de 64%, por lo cual, se está cumpliendo con lo especificado e indica que nuestro agregado no presenta una cantidad considerable de material contaminante.

Tabla N° 2
Resultados de equivalente de arena

Número	1	2	3
Hora de entrada a saturación	9:12 a.m.	9:15 a.m.	9:19 a.m.
Hora de salida de saturación	9:22 a.m.	9:25 a.m.	9:29 a.m.
Hora de entrada de decantación	9:25 a.m.	9:30 a.m.	9:35 a.m.
Hora de salida de decantación	9:45 a.m.	9:50 a.m.	9:55 a.m.
Altura máxima del material fino (cm)	4.9	5.0	5.0
Altura máxima de la arena (cm)	3.2	3.20	3.2
Equivalente de arena (%)	65	64	64
Equivalente de arena promedio (%)		64	

Fuente: Elaboración propia (2022)

c) Azul de metileno

De acuerdo con las EG 2013, el valor máximo permisible de azul de metileno es de 8 mg/g. Para el estudio de la presente cantera, se obtuvo un valor de 4 mg/g, lo cual resulta favorable ya que no es un material muy reactivo que podría generar una rotura prematura de la emulsión.

Tabla N° 3
Resultados de azul de metileno

Número	1	2
Azul de Metileno	mg/g 4.0	4.0
Azul de Metileno Promedio	mg/g	4.0

Fuente: Elaboración propia (2022)

d) Adherencia Riedel – Webber

De acuerdo con las EG 2013, el desprendimiento inicial debe ser de grado mínimo 4. En el estudio de nuestro material de agregado, el desprendimiento inicial es de grado 6.

Tabla N° 4
Resultados de la adherencia Riedel - Webber

Adherencia	Número	Desprendimiento
Grado	0	No desprende
Grado	1	No desprende
Grado	2	No desprende
Grado	3	No desprende
Grado	4	No desprende
Grado	5	No desprende
Grado	6	Desprendimiento inicial
Grado	7	
Grado	8	
Grado	9	
Adherencia Riedel - Webber: GRADO		6

Fuente: Elaboración propia (2022)

A continuación, se muestra una tabla resumen de los ensayos realizados a los agregados:

Tabla N° 5
Resumen de ensayos a agregados

Ensayo	Resultado	Especificaciones EG 2013 - MTC	Método
Equivalente de Arena (%)	64	40 mín	MTC E 114
Azul de Metileno (mg/g)	4	8 máx	AASHTO TP57
Adherencia Riedel Weber (grado)	6	4 mín	MTC E 220
Índice de Plasticidad (%)	NP	NP	MTC E 111
Pérdida en Sulfato de Mg (%)	1	18 máx	MTC E 209

Fuente: Elaboración propia (2022)

5.2.2. Resultados de los ensayos a la emulsión asfáltica

Debido a que se está dando un enfoque para un clima frío, se usará como cemento asfáltico base un PEN 85/100 para la elaboración de la emulsión asfáltica. El tipo de emulsión a utilizar será uno de rotura lenta, debido a que cuentan con el tiempo necesario para poder combinarse con los agregados y que se pueda formar la mezcla de Slurry Seal. A continuación, se muestra una tabla con el resumen de todos los ensayos realizados a la emulsión asfáltica y su respectiva especificación, según el EG 2013:

Tabla N° 6
Resumen de ensayos a la emulsión asfáltica

Ensayo	Resultado	Especificaciones EG 2013 - MTC	Método
Residuo asfáltico (%)	60.8	60.0 mín	MTC E 411
Carga de partícula	+	+	MTC E 407
Viscosidad Saybolt Furol 25°C (s)	24	20 - 100	MTC E 403
Tamizado (retenido malla 20) (%)	0.01	0.1 máx	MTC E 405
Sedimentación (%)	2.8	5.0 máx	MTC E 404

Fuente: Elaboración propia (2022)

Tabla N° 7: Resumen de ensayos al residuo asfáltico
Resumen de ensayos al residuo asfáltico

Ensayo	Resultado	Especificaciones EG 2013 - MTC	Método
Penetración, 25°C, 100g, mm	75	50 - 90	MTC E 304
Punto de ablandamiento (°C)	52	45 mín	MTC E 307
Ductilidad (cm)	12	10 mín	MTC E 306

Fuente: Elaboración propia (2022)

5.2.3. Resultados del diseño de mezcla de Slurry Seal convencional

a) ISSA TB 113: Tiempo de mezclado

Con este ensayo se puede establecer una dosificación inicial de los materiales que conformarán la mezcla de Slurry Seal. La ISSA establece que la mezcla no debe romper antes de los 120 segundos, de lo contrario, se tendrá que reajustar la dosificación inicial. Este ensayo también verifica la compatibilidad de cada insumo. A continuación, se muestran los tiempos anotados.

Tabla N° 8
Tiempo de mezclado

Número	1	2	3
Tiempo de mezclado a 20°C (seg)	221	218	220
Prom. tiempo de mezclado a 20°C (seg)	220		

Fuente: Elaboración propia (2022)

b) ISSA TB 111: Consistencia

Con el ensayo de consistencia, establecemos el contenido óptimo de agua de la mezcla de Slurry Seal. De acuerdo con la ISSA, se recomienda que la

consistencia sea de un valor de 2.5 cm. Habiendo generado la curva de consistencia con diferentes valores de contenido de agua, podemos interceptar para obtener un valor de consistencia de 2.5 cm a cierto contenido de agua, el cual producto de esa intercepción es un 9%.

Tabla N° 9
Consistencia del Slurry Seal convencional

Número	Agua (%)	Filler (%)	Emulsión (%)	Consistencia (cm)
1	8	1.0	14	1.5
2	9	1.0	14	2.5
3	10	1.0	14	3.6
4	11	1.0	14	4.4

Fuente: Elaboración propia (2022)

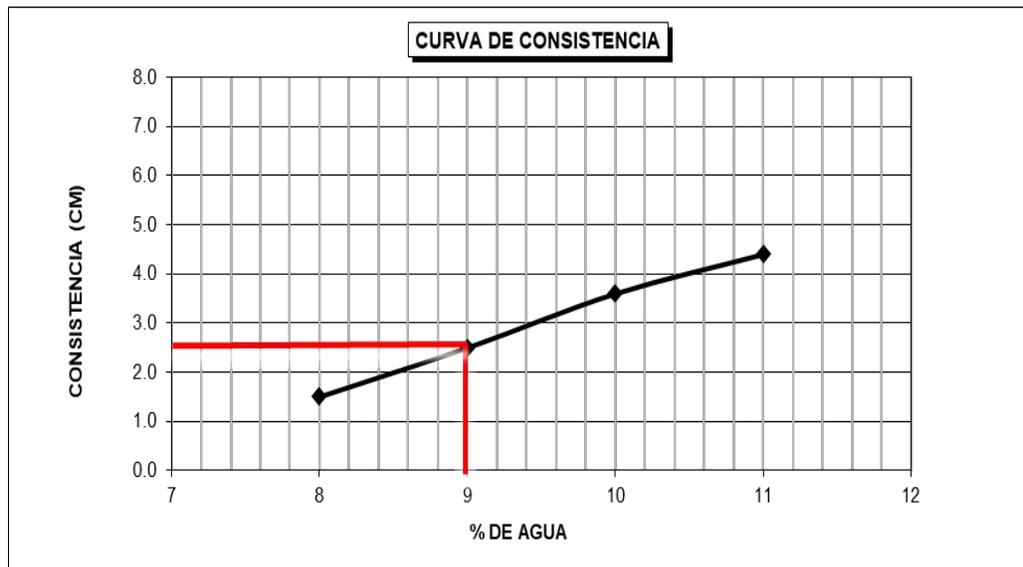


Figura 47: Curva de consistencia de Slurry Seal convencional
Fuente: Elaboración propia (2022)

c) ISSA TB 114: Decapado en Húmedo

De acuerdo con la ISSA, se debe tener un desprendimiento máximo de 10%. Se obtuvo un desprendimiento promedio de 1%, lo cual se está cumpliendo con la especificación.

Tabla N° 10: Decapado en húmedo de Slurry Seal convencional
Decapado en húmedo de Slurry Seal convencional

Número	1	2	3
Desprendimiento (%)	1.0	1.0	1.0
Desprendimiento promedio (%)	1.0		

Fuente: Elaboración propia (2022)

d) ISSA TB 100: Wet Track Abrasion Test

El ensayo de abrasión en húmedo nos da un indicativo de la cantidad mínima de emulsión asfáltica a utilizar en la mezcla. Durante este ensayo, podemos determinar la resistencia al desgaste por abrasión de nuestra muestra, mediante la simulación de la superficie de la vía saturada mientras está expuesta a las cargas del tráfico.

Tabla N° 11
Wet Track Abrasion Test de Slurry Seal convencional

Número	Emulsión Asfáltica (%)	Asfalto (%)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Abrasión (g)	WTAT (g/m ²)
1	13	7.8	1351.9	1336.1	15.8	519.8
2	14	8.4	1357.6	1344.7	12.9	424.4
3	15	9.0	1358.0	1346.1	11.9	391.5
4	16	9.6	1359.4	1350.7	8.7	285.2

Fuente: Elaboración propia (2022)

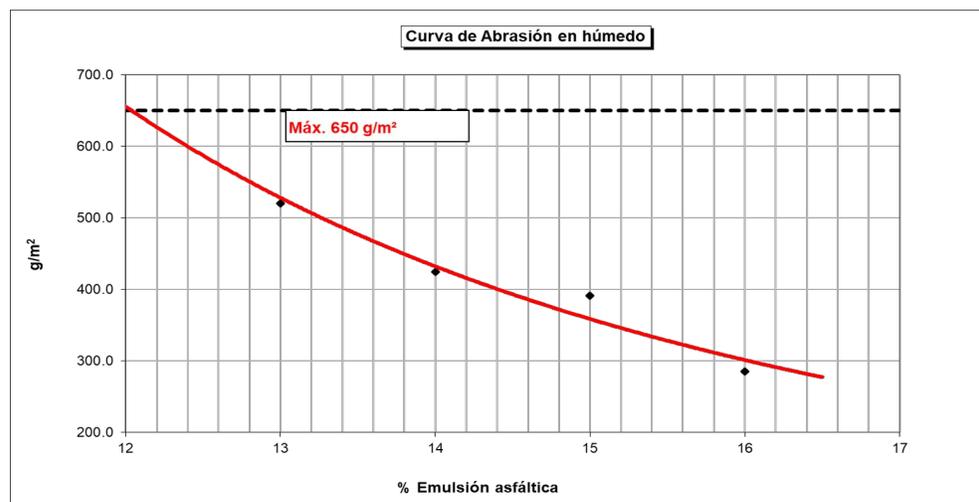


Figura 48: Curva de abrasión en húmedo de Slurry Seal convencional
Fuente: Elaboración propia (2022)

e) ISSA TB 109: Loaded Wheel Test

El ensayo de rueda cargada nos da un indicativo de la cantidad máxima de emulsión asfáltica. Nos da un indicativo de la resistencia a la exudación, simulando la superficie de la vía expuesto a alta carga vehicular.

Tabla N° 12
Loaded Wheel Test del Slurry Seal convencional

Número	Emulsión Asfáltica (%)	Asfalto (%)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Arena Adherida (g)	LWT (g/m ²)
1	13.0	7.8	423.0	426.4	3.4	309.7
2	14.0	8.4	422.0	426.7	4.7	416.5
3	15.0	9.0	424.6	430.4	5.8	514.0
4	16.0	9.6	428.3	435.1	6.8	592.9

Fuente: Elaboración propia (2022)

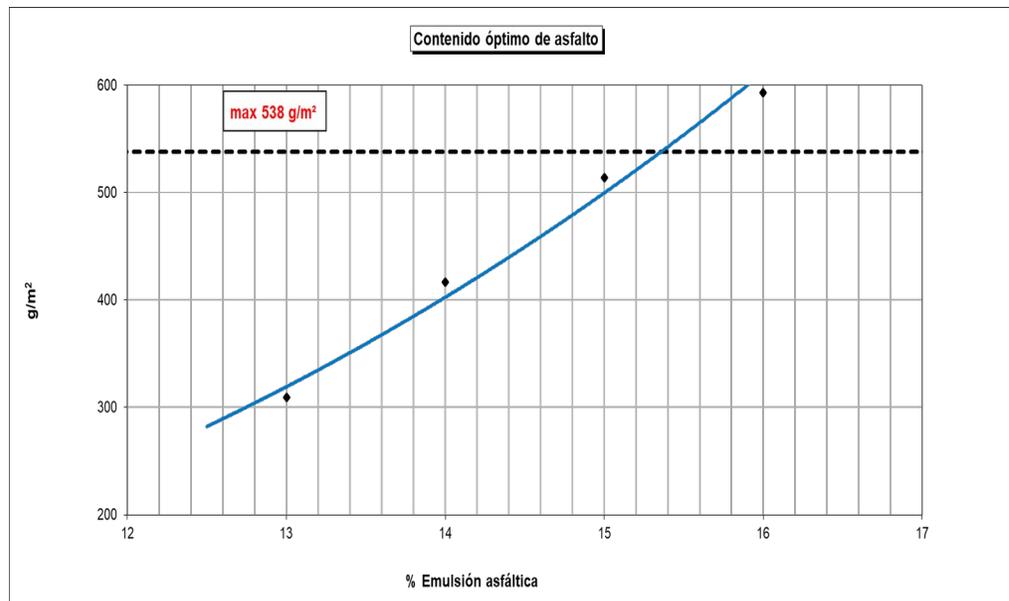


Figura 49: Curva de Loaded Wheel Test de Slurry Seal convencional

Fuente: Elaboración propia (2022)

f) Determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica

El porcentaje óptimo de emulsión asfáltica para la mezcla de Slurry Seal convencional se determina juntando las curvas de los ensayos de W.T.A.T. y L.W.T. y señalando la intercepción de ambas, la cual da un valor de 14.2%.

Sin embargo, este valor puede variar $\pm 0.2\%$ dependiendo la zona de aplicación de proyecto.

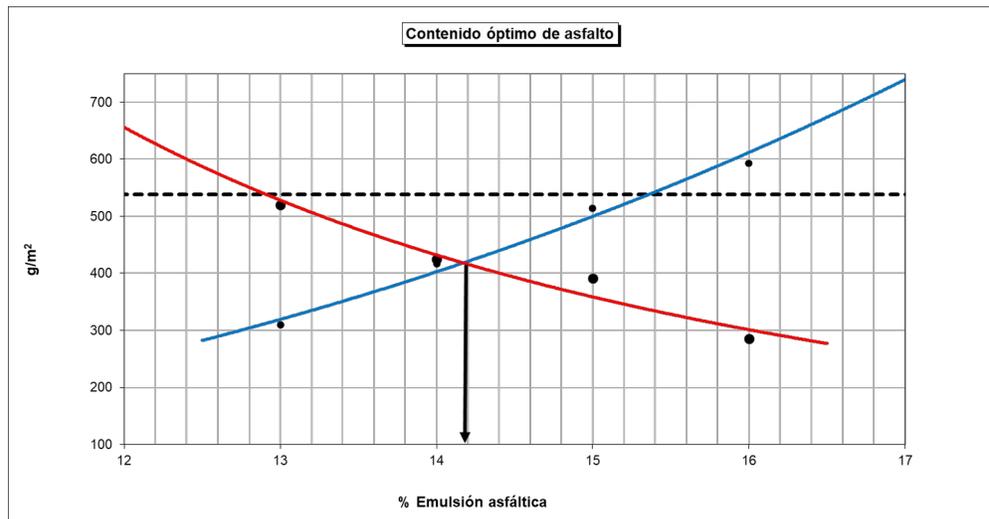


Figura 50: Curva de obtención de contenido óptimo de emulsión asfáltica del Slurry Seal convencional

Fuente: Elaboración propia (2022)

g) ISSA TB 139: Cohesión

Con el ensayo de cohesión, se determina el tiempo de apertura al tráfico luego de haber aplicado un Slurry Seal.

Tabla N° 13: Ensayo de cohesión del Slurry Seal convencional

Ensayo de cohesión del Slurry Seal convencional

Emulsión Asfáltica (%)	Filler (%)	Agua (%)	Torque (Kg-cm)			
			30 min	60 min	90 min	120 min
14.2	1.0	9	12.0	20.0	21.0	23.0

Fuente: Elaboración propia (2022)

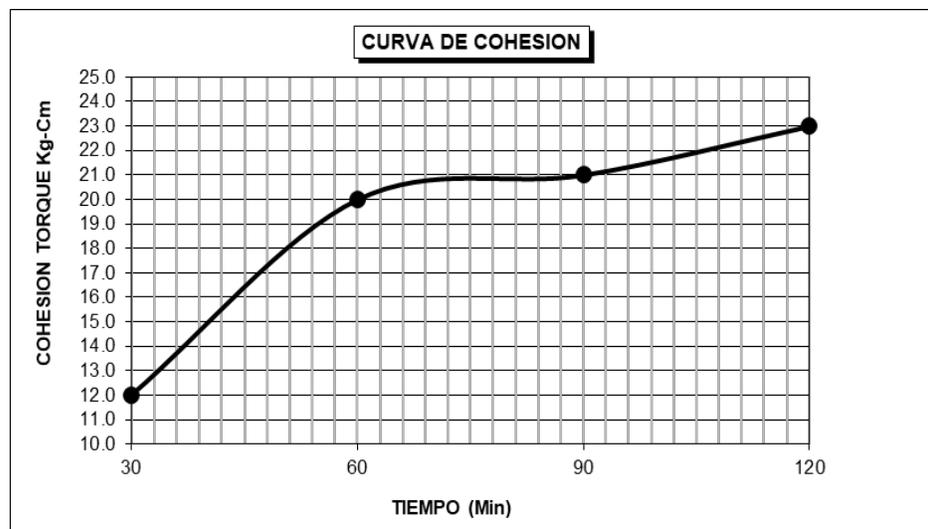


Figura 51: Curva de cohesión de Slurry Seal convencional
Fuente: Elaboración propia (2022)

5.2.4. Resultados del diseño de mezcla de Slurry Seal con fibra de vidrio

a) ISSA TB 113: Tiempo de mezclado

Tabla N° 14

Tiempo de mezclado de Slurry Seal con fibra de vidrio

Número	1	2	3
Tiempo de mezclado a 20°C (seg)	224	221	223
Prom. De tiempo de mezclado a 20°C (seg)	223		

Fuente: Elaboración propia (2022)

b) ISSA TB 111: Consistencia

Tabla N° 15: Consistencia de Slurry Seal con fibra de vidrio

Consistencia de Slurry Seal con fibra de vidrio

Número	Agua (%)	Filler (%)	Emulsión (%)	Consistencia (cm)
1	8	1.0	14	1.5
2	9	1.0	14	2.5
3	10	1.0	14	3.6
4	11	1.0	14	4.4

Fuente: Elaboración propia (2022)

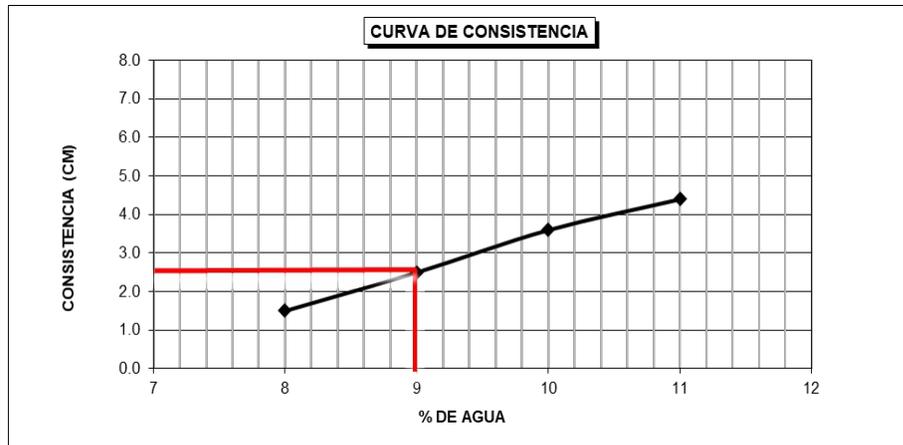


Figura 52: Curva de consistencia de Slurry Seal con fibra de vidrio
Fuente: Elaboración propia (2022)

c) ISSA TB 114: Decapado en Húmedo

Tabla N° 16

Decapado en húmedo del Slurry Seal con fibra de vidrio

Número	1	2	3
Desprendimiento (%)	1.0	1.0	1.0
Desprendimiento promedio (%)	1.0		

Fuente: Elaboración propia (2022)

d) ISSA TB 100: Wet Track Abrasion Test

Tabla N° 17

Wet Track Abrasion Test de Slurry Seal con fibra de vidrio

Número	Emulsión (%)	Asfalto (%)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Abrasión (g)	WTAT (g/m ²)
1	13	7.8	1352.4	1340.0	12.4	408.0
2	14	8.4	1358.1	1349.8	8.3	273.1
3	15	9.0	1359.0	1352.4	6.6	217.1
4	16	9.6	1359.9	1354.8	5.1	167.8

Fuente: Elaboración propia (2022)

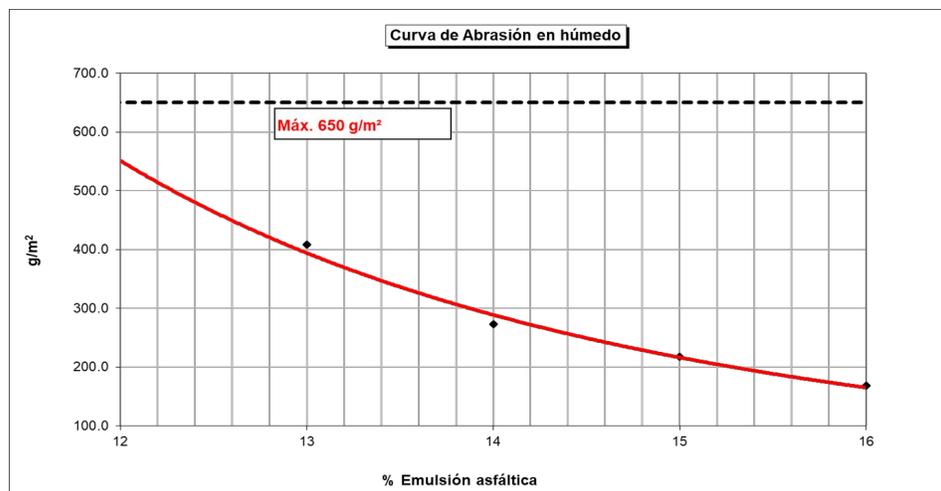


Figura 53: Curva de WTAT de Slurry Seal con fibra de vidrio
Fuente: Elaboración propia (2022)

e) ISSA TB 109: Loaded Wheel Test

Tabla N° 18: Loaded Wheel Test de Slurry Seal con fibra de vidrio
Loaded Wheel Test de Slurry Seal con fibra de vidrio

Número	Emulsión (%)	Asfalto (%)	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Arena Adherida (g)	LWT (g/m ²)
1	13.0	7.8	423.4	426.3	2.9	264.1
2	14.0	8.4	422.3	425.8	3.5	310.1
3	15.0	9.0	425.0	429.8	4.8	425.3
4	16.0	9.6	428.7	434.6	5.9	514.4

Fuente: Elaboración propia (2022)

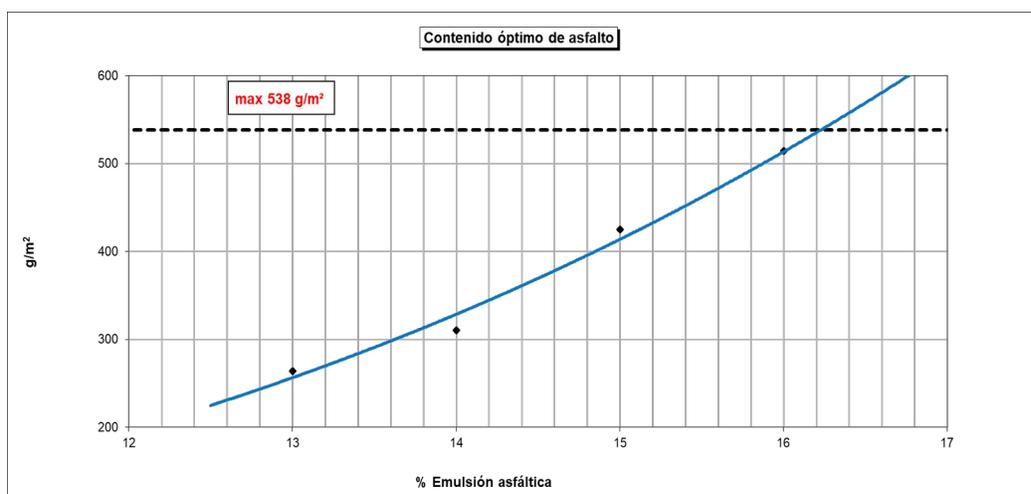


Figura 54: Curva de Loaded Wheel Test con fibra de vidrio
Fuente: Elaboración propia (2022)

f) Determinación del contenido óptimo de emulsión asfáltica

El porcentaje óptimo de emulsión asfáltica para la mezcla de Slurry Seal con fibra de vidrio es de 13.8%.

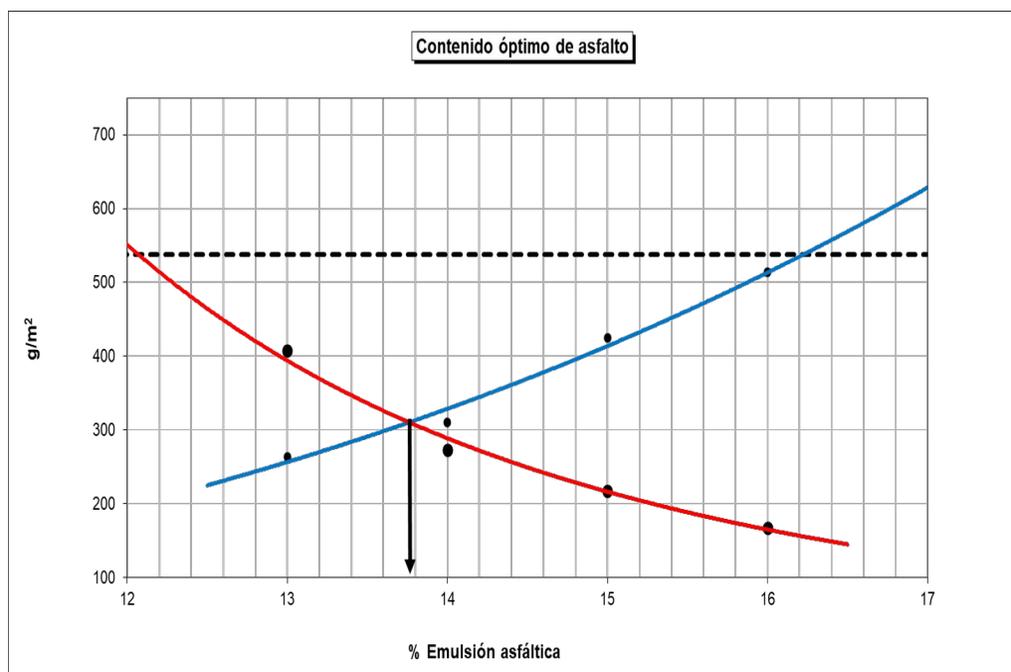


Figura 55: Curva de obtención de contenido óptimo de emulsión asfáltica de Slurry Seal con fibra de vidrio

Fuente: Elaboración propia (2022)

g) ISSA TB 139: Cohesión

Tabla N° 19: Resultados de la cohesión de Slurry Seal con fibra de vidrio

Resultados de la cohesión de Slurry Seal con fibra de vidrio

Emulsión (%)	Filler (%)	Agua (%)	Torque (Kg-cm)			
			30 min	60 min	90 min	120 min
13.8	1.0	9	12.0	20.0	21.0	23.0

Fuente: Elaboración propia (2022)

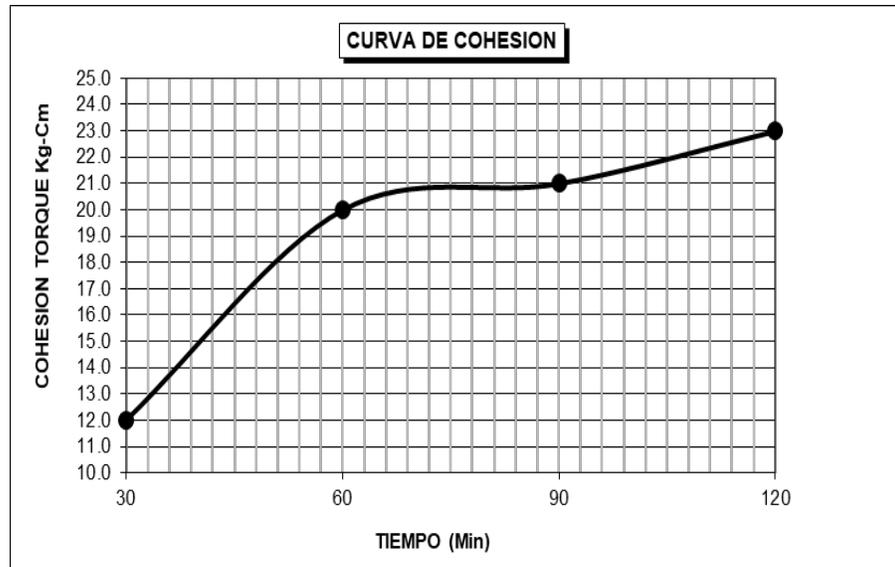


Figura 56: Curva de ensayo de cohesión de Slurry Seal con fibra de vidrio
Fuente: Elaboración propia (2022)

5.3. Análisis comparativo de las muestras de Slurry Seal

5.3.1. Comparación y análisis de Wet Track Abrasion Test

Tabla N° 20: Resultados de WTAT de ambas muestras
Resultados de WTAT de ambas muestras

Emulsión (%)	W.T.A.T. Slurry Seal Convencional (g/m2)	W.T.A.T. Slurry Seal con Fibra de Vidrio (g/m2)	Especificación ISSA (g/m2)
13.0	519.8	408.0	
14.0	424.4	273.1	650.0
15.0	391.5	217.1	
16.0	285.2	167.8	

Fuente: Elaboración propia (2022)

Para 4 diferentes contenidos de emulsión asfáltica de 13%, 14%, 15% y 16%, y considerando muestras de Slurry Seal convencional y muestras de Slurry Seal con adición de fibra de vidrio, se realizó el ensayo de Wet Track Abrasion Test. De los resultados de la tabla N°20, se obtuvieron valores menores de W.T.A.T. para las muestras con fibra de vidrio, lo cual implica una mejora en su comportamiento frente al desgaste generado por los vehículos que circulan,

debido a que estos valores se alejan del límite máximo permisible, el cual es de 650 g/m². En cambio, los valores obtenidos para el Slurry Seal convencional están más cercanos al límite.

Se observó que, a mayor cantidad de emulsión asfáltica, se obtiene un mejor comportamiento frente al desgaste, sin embargo, tener una cantidad alta de emulsión asfáltica puede ser perjudicial para la mezcla de Slurry Seal.

5.3.2. Comparación y análisis de Loaded Wheel Test

Tabla N° 21: Resultados de L.W.T. de ambas muestras
Resultados de L.W.T. de ambas muestras

Emulsión (%)	L.W.T. Slurry Seal Convencional (g/m ²)	L.W.T. Slurry Seal con Fibra de Vidrio (g/m ²)	Especificación ISSA (g/m ²)
13.0	309.7	264.1	
14.0	416.5	310.1	538.0
15.0	514.0	425.3	
16.0	592.9	514.4	

Fuente: Elaboración propia (2022)

Para 4 diferentes contenidos de emulsión asfáltica de 13%, 14%, 15% y 16%, y considerando muestras de Slurry Seal convencional y muestras de Slurry Seal con adición de fibra de vidrio, se realizó el ensayo de Loaded Wheel Test.

De los resultados mostrados en la tabla N°21, se obtuvieron valores menores de L.W.T. para las muestras con fibra de vidrio, mejorando su comportamiento frente a la deformación o exudación, debido a que estos valores se alejan del límite máximo permisible, el cual es de 538 g/m². En cambio, los valores obtenidos para el Slurry Seal convencional están más cercanos al límite máximo permisible, lo cual hace que sea más susceptible a la exudación.

Se observó también que, a mayor cantidad de emulsión asfáltica, los valores obtenidos son cercanos al límite máximo permisible, con lo cual, no es recomendable usar una cantidad muy alta de emulsión asfáltica.

5.3.3. Comparación del contenido óptimo de emulsión asfáltica

Tabla N° 22

Contenidos óptimos de ambas muestras de Slurry Seal

Muestra	Óptimo Contenido de Emulsión Asfáltica (%)
Slurry Seal Convencional	15.4
Slurry Seal con Fibra de Vidrio	14.8

Fuente: Elaboración propia (2022)

Con los resultados de los ensayos de Wet Track Abrasion Test y Loaded Wheel Test, se formaron las gráficas vistas en la sección anterior y se pudo determinar el óptimo contenido de emulsión asfáltica para cada diseño. El criterio de elección de óptimo contenido de emulsión asfáltica fue la intersección de ambas curvas, puesto que, con ese contenido de emulsión asfáltica, la muestra no será susceptible a deformarse debido a altos contenidos, ni tampoco susceptible al desgaste o desprendimiento de los agregados. Vale precisar que este criterio fue optado solamente para fines de la investigación y lo más recomendable si se trata de un diseño a ser aplicado en alguna obra, es el de áreas mínimas y máximas, partiendo de referencia desde la intersección de ambas curvas y con un $\pm 0.2\%$ de emulsión, dependiendo de la zona de trabajo.

Como puede observarse en la tabla N°22, el contenido óptimo de emulsión asfáltica para las muestras de Slurry Seal con fibra de vidrio es menor que el de un convencional, esto debido a las mejoras frente al desgaste y exudación. Esto pudo observarse en las gráficas de ambos ensayos, puesto que a diferencia de las gráficas del Slurry Seal convencional, estas van moviéndose un poco más hacia el lado izquierdo. El tener un menor contenido de emulsión asfáltica hace que la mezcla sea menos susceptible a la exudación, además, con la inclusión de fibra de vidrio tendrá un mejor comportamiento frente al desgaste generado por los vehículos.

5.3.4. Comparación y análisis de la cohesión

Tabla N° 23
Resultados de la cohesión de ambas muestras

Tipo de Mezcla	Torque (kg-cm)			
	30 min	60 min	90 min	120 min
Slurry Seal Convencional	12.0	19.0	21.0	23.0
Slurry Seal c/ Fibra de Vidrio	12.0	20.0	21.0	23.0

Fuente: Elaboración propia (2022)

El ensayo de cohesión se realizó con el óptimo contenido de emulsión asfáltica de cada tipo de mezcla de Slurry Seal, y con el cual, se define el tiempo de apertura al tráfico luego de una aplicación.

Como se observa en la tabla N°23, la inclusión de fibra de vidrio tiene un efecto mínimo en los torques aplicados a la muestra de Slurry Seal. Por lo tanto, no se aprecia una mejora significativa en este apartado, en lo que no se estaría reduciendo el tiempo de apertura al tráfico luego de una aplicación.

A diferencia de un Micropavimento, en donde su tiempo de apertura es menor al de 1 hora, se debe principalmente al aditivo controlador de rotura que posee en la emulsión asfáltica con la que es elaborada.

5.4. Contrastación de hipótesis

5.4.1. Hipótesis específica 1:

Hipótesis Alterna 1 (Hi1): La inclusión de fibra de vidrio mejora el comportamiento del Slurry Seal frente al desgaste.

Hipótesis Nula (H01): La inclusión de fibra de vidrio no mejora el comportamiento del Slurry Seal frente al desgaste.

Se realizó 2 diseños de Slurry Seal, siendo una mezcla convencional y la otra mezcla con adición de fibra de vidrio. Para cada contenido de emulsión asfáltica

durante el ensayo de Wet Track Abrasion Test, los resultados obtenidos para la mezcla con fibra de vidrio fueron menores que el de la mezcla convencional y a su vez, están alejándose del límite máximo establecido por la ISSA. Entonces, la adición de fibra de vidrio mejora el comportamiento al desgaste, incluso haciendo uso de una menor cantidad de emulsión asfáltica.

Por lo tanto, Hi1 es válido.

5.4.2. Hipótesis específica 2:

Hipótesis Alterna 2 (Hi2): La inclusión de fibra de vidrio mejora el comportamiento del Slurry Seal frente a la exudación.

Hipótesis Nula (H02): La inclusión de fibra de vidrio no mejora el comportamiento del Slurry Seal frente a la deformación y/o exudación.

Se realizó 2 diseños de Slurry Seal, siendo una mezcla convencional y la otra mezcla con adición de fibra de vidrio. Para cada contenido de emulsión asfáltica durante el ensayo de Loaded Wheel Test, los resultados obtenidos para la mezcla con fibra de vidrio fueron menores que el de la mezcla convencional y a su vez, están alejándose del límite máximo establecido por la ISSA. Entonces, la adición de fibra de vidrio mejora el comportamiento frente a la deformación, incluso haciendo uso de una menor cantidad de emulsión asfáltica.

Por lo tanto, Hi2 es válido.

5.4.3. Hipótesis específica 3:

Hipótesis Alterna 3 (Hi3): La inclusión de fibra de vidrio disminuye el tiempo de apertura al tráfico.

Hipótesis Nula (H03): La inclusión de fibra de vidrio no disminuye el tiempo de apertura al tráfico.

Una vez obtenido los contenidos óptimos de emulsión asfáltica de cada diseño, se procede a realizar el ensayo de cohesión para determinar el tiempo de apertura al tráfico. Es conocido que, luego de una aplicación de Slurry Seal, la apertura al tráfico de la vía donde fue aplicada puede variar entre 2 a 4 horas, mientras que en otras tecnologías de tratamiento de superficie como el micropavimento, esta apertura al tráfico puede lograrse en 1 hora o menos. Los torques obtenidos para la mezcla de Slurry Seal con fibra de vidrio son similares al del Slurry Seal convencional, por lo que no se estaría notando una mejoría en este aspecto.

Por lo tanto, Hi3 es rechazada.

5.4.4. Hipótesis específica 4:

Hipótesis Alterna 4 (Hi4): La inclusión de fibra de vidrio influye en la obtención del contenido óptimo de emulsión asfáltica en el proceso de diseño de Slurry Seal.

Hipótesis Nula (H04): La inclusión de fibra de vidrio no influye en la obtención del contenido óptimo de emulsión asfáltica en el proceso de diseño de Slurry Seal.

Los valores obtenidos, tanto para el ensayo de W.T.A.T. y L.W.T., de la mezcla de Slurry Seal con adición de fibra de vidrio, presentan valores menores respecto al de la mezcla convencional. Entonces, la gráfica que generan ambas curvas se encontrará en una diferente posición respecto a la gráfica del Slurry Seal convencional, teniendo un menor contenido óptimo de emulsión asfáltica.

Por lo tanto, Hi4 es validada.

CONCLUSIONES

1. La inclusión de fibra de vidrio mejora el comportamiento frente al desgaste de un Slurry Seal, con lo cual, se tendrá una mezcla menos propensa al desgaste y a la pérdida de agregados por acción del tráfico. En este ensayo realizado a la mezcla de Slurry Seal con fibra de vidrio, los valores obtenidos respecto a la abrasión se alejan del límite máximo permisible.
2. La inclusión de fibra de vidrio mejora el comportamiento frente a la deformación de un Slurry Seal, con lo cual, se tendrá una mezcla menos propensa a exudarse.
3. La inclusión de fibra de vidrio no tiene un mejoramiento significativo en el ensayo de cohesión, con lo cual, la apertura al tráfico luego de una aplicación de Slurry Seal seguirá siendo mayor a 2 horas.
4. Los porcentajes óptimos de contenido de emulsión asfáltica variaron para ambos diseños realizados. Se obtuvo un menor contenido de emulsión asfáltica para la mezcla con adición de fibra de vidrio, respecto a la mezcla convencional, debido a la mejora de los ensayos de Wet Track Abrasion Test y Loaded Wheel Test. Esto puede traducirse también como un ahorro económico y una menor tendencia a que la mezcla se exude durante su puesta en servicio.
5. No solamente la inclusión de fibra de vidrio incide en el comportamiento de un Slurry Seal, sino también la cantidad de emulsión asfáltica. Como pudo observarse, a una mayor cantidad de emulsión asfáltica el Slurry Seal mejora significativamente frente al desgaste, pero es susceptible a exudarse y/o deformarse.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los futuros investigadores realizar posteriores evaluaciones del comportamiento del Slurry Seal para una mayor cantidad de fibra de vidrio, con contenidos de 0.4%, 0.6%, 0.8% respecto al peso seco del agregado, debido a que la presente investigación se hizo para un contenido de 0.2%.
2. Se recomienda evaluar el comportamiento del Slurry Seal con distintos tipos de formulación de emulsión asfáltica, considerando para climas cálidos, fríos y templados, puesto que también tienen una incidencia importante sobre el comportamiento de la mezcla.
3. Se recomienda realizar la caracterización de agregados y asegurar que se cumplan las especificaciones planteadas por la ISSA y/o MTC, dando un especial énfasis a la gradación de la granulometría, resultados de los ensayos de equivalente de arena y azul de metileno. Estos 2 últimos ensayos mencionados son muy importantes para verificar su cumplimiento, ya que, en caso contrario pueden generar una rotura prematura de la emulsión asfáltica, evitando que se produzca una correcta mezcla con los agregados.
4. De manera general, se recomienda la aplicación de Slurry Seal en vista que no solamente debe ser considerada como una opción para el mantenimiento de vías importantes, sino también como protección de bases granulares o estabilizadas de caminos de bajo volumen de tránsito, ya que es una solución muy buena tanto en el aspecto técnico como económico, además que se tiene ya muchas experiencias previas de aplicación de esta solución en nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Astorga, F. (2018). *Evaluación de la Influencia del Contenido de Escoria de Cobre en la Elaboración de Lechadas Asfálticas*. (Tesis de para optar el grado de ingeniero en construcción). Universidad de Valparaíso, Valparaíso.
- Bonilla, A. & Díaz, J. (2018). *Modificación de Mezclas Asfálticas Mediante Fibras de Vidrio Listas Para Instalar*. (Tesis de para optar el grado de ingeniero civil). Universidad Piloto de Colombia, Bogotá.
- Cruz, E. (2020). *Evaluación de las Emulsiones Asfálticas Basadas en Especificaciones de Grado de Desempeño y del Efecto de Fibras Utilizadas en Aplicaciones de Microaglomerados*. (Tesis de para optar el grado de Maestro en infraestructura del transporte). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia.
- García, E. & Prado, L. (2015). *Estudio Comparativo del Slurry Seal Utilizando Agregados de Tipo Calcáreo y Silicio, como Tratamiento para el Mantenimiento y Rehabilitación de Superficies Asfálticas*. (Tesis de para optar el grado de ingeniero civil). Universidad Rafael Urdeneta, Lima.
- Huanca, J. (2013). *Diseño de Slurry Seal Empleando Emulsión Asfáltica Modificada con Polímeros y su Evaluación Variando el Contenido de Filler*. (Tesis de para optar el grado de ingeniero civil). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- ISSA TB 100 (2020). *Método de Ensayo Para la Abrasión Húmeda de Sistemas de Superficie Tipo Slurry*. Recuperado de <https://www.slurry.org/>.

- ISSA TB 105A (2020). *Norma de Rendimiento Recomendadas Para Slurry Seal de Asfalto Emulsionado*. Recuperado de <https://www.slurry.org/>.
- ISSA TB 106 (2015). *Método de Ensayo Para Medir la Consistencia de Sellador Tipo Slurry*. Recuperado de <https://www.slurry.org/>.
- ISSA TB 109 (2018). *Método de Ensayo Para Medir el Exceso de Asfalto en Mezclas Bituminosas Mediante el Uso de Rueda Cargada*. Recuperado de <https://www.slurry.org/>.
- ISSA TB 113 (2017). *Método de Ensayo Para Determinar el Tiempo de Mezcla Para Superficies Tipo Slurry*. Recuperado de <https://www.slurry.org/>.
- ISSA TB 114 (2017). *Método de Ensayo Para Decapado Húmedo de Mezcla de Superficies Curadas de Tipo Slurry*. Recuperado de <https://www.slurry.org/>.
- ISSA TB 139 (2017). *Método de Ensayo Para Determinar el Desarrollo del Endurecimiento y Curado de Sistemas de Superficie Tipo Slurry Mediante un Comprobador de Cohesión*. Recuperado de <https://www.slurry.org/>.
- Jiménez, M., Múnera, J. & Ulloa, A. (2016). *Guía de Diseño de Mezcla de Laboratorio Para los Sellos de Lechada Asfáltica (Slurry Seals)*. Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Universidad de Costa Rica).
- Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción EG 2013*. (s.f.). Lima – Perú.
- Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos 2014*. (s.f.). Lima – Perú.
- Martínez, E. & Montañez, J. (2021). *Estudio de Lechadas Asfálticas para Pavimentos con la Incorporación de Residuos de Plástico PET*. (Tesis para optar el grado de ingeniero civil) Universidad Piloto de Colombia, Bogotá.

- Menéndez Acurio, R. (2012). *Ingeniería de Pavimentos: Materiales, Diseño y Construcción*. Lima: Fondo Editorial del Instituto de Construcción y Gerencia.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para carreteras*. Colombia: Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones.
- Orellana, M., Peña, E. & Pérez, B. (2015). *Propuesta de Diseño y Proceso Constructivo de Lechada Asfáltica en el Mantenimiento de Obras Viales en El Salvador*. (Tesis de para optar el grado de ingeniero civil). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Ortiz, L. (2014). *Evaluación en Laboratorio del Desempeño de Morteros Asfálticos y Micropavimentos con Agregados Naturales del Proyecto: Mantenimiento de Carretera Interoceánica Norte*. (Tesis de para optar el grado de ingeniero civil). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Ponce, A. (2021). *Aplicación de Fibras de Vidrio en el Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente Para Rehabilitar Pavimentos Flexibles en Juliaca*. (Tesis de para optar el grado de ingeniero civil). Universidad Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca.
- Ramírez, Y. (2017). *Comportamiento del Slurry Seal a Altitudes Mayores de 3500 m.s.n.m. en Mantenimiento de Pavimentos Flexibles de la Ciudad de Puno*. (Tesis de para optar el grado de ingeniero civil). Universidad Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca.
- Reyes Lizcano F. (2003). *Diseño racional de pavimentos*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rodríguez, R., Castaño, V & Martínez, M. (2001). *Emulsiones Asfálticas*. México: secretaria de Comunicaciones y Transporte.

Sáez Alván, L. (2019). *Mezclas Asfálticas Para Pavimentos*. Lima: Fondo Editorial del Instituto de Construcción y Gerencia.

Torres, Y. (2019). *Comportamiento del Slurry Seal Para el Mantenimiento de la Superficie Asfáltica, El Tambo*. (Tesis de para optar el grado de ingeniero civil). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo.

ANEXOS

Anexo N°1: Matriz de consistencia

TITULO : COMPORTAMIENTO DE UN SLURRY SEAL CON LA INCLUSIÓN DE FIBRA DE VIDRIO						
DEFINICION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES			METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
Enfoque: Cuantitativo Método: Deductivo Orientación: Aplicada Recolección de Datos: Prolectivo						
¿Cómo es el comportamiento de un Slurry Seal con la inclusión de fibra de vidrio para trabajos de conservación vial en vías de alto volumen de tráfico?	Determinar el comportamiento de un Slurry Seal con la inclusión de fibra de vidrio para trabajos de conservación vial en vías de alto volumen de tráfico	La inclusión de fibra de vidrio mejora el comportamiento de un Slurry Seal para trabajos de conservación vial	Fibra de Vidrio	Cantidad	Porcentaje de fibra de vidrio respecto al peso seco del agregado	
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVO ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLE DEPENDIENTE			
1) ¿Cómo influirá la adición de fibra de vidrio en el comportamiento de un Slurry Seal frente al desgaste?	1) Evaluar la influencia de adición de fibra de vidrio en un Slurry Seal, frente al desgaste, a través de Wet Track Abrasion Test	1) La inclusión de fibra de vidrio mejora el comportamiento del Slurry Seal frente al desgaste.	Comportamiento de un Slurry Seal	Resistencia	Desgaste en condiciones húmedas	Tipo: Descriptivo - Correlacional Nivel: Descriptivo - Explicativo Diseño: experimental longitudinal
2) ¿Cómo influirá la adición de fibra de vidrio en el comportamiento de un Slurry Seal frente a la exudación?	2) Evaluar la influencia de adición de fibra de vidrio en un Slurry Seal, frente a la exudación a través del ensayo Loaded Wheel Test	2) La inclusión de fibra de vidrio mejora el comportamiento del Slurry Seal frente a la deformación		Deformación	Población: Briquetas de Slurry Seal Muestra: Número de ensayos	
3) ¿Cómo influirá la adición de fibra de vidrio en el tiempo de apertura al tráfico?	3) Evaluar la influencia de la adición de fibra de vidrio en un Slurry Seal, en el tiempo de apertura al tráfico.	3) La inclusión de fibra de vidrio disminuye el tiempo de apertura al tráfico.		Tiempo de apertura al tráfico	Torque	Técnicas de Recolección de Datos: Normativas ISSA TB 109, 113, 144, 146, 147. Instrumentos: Se utilizarán los instrumentos de laboratorio especificados de las normativas mencionadas anteriormente, así como también fichas de laboratorio para la toma de datos.
4) ¿La inclusión de fibra influirá en la obtención del contenido óptimo de emulsión asfáltica?	4) Evaluar la influencia de la adición de fibra de vidrio para la obtención del contenido óptimo de emulsión asfáltica.	4) La inclusión de fibra de vidrio influye en la obtención del contenido óptimo de emulsión asfáltica en el proceso de diseño de Slurry Seal.		Diseño	Contenido óptimo de emulsión asfáltica	

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo N°2: Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Medición	Instrumentos	Técnicas	
VI: Fibra de Vidrio	Material químicamente estable, que lo hace un aditivo ideal. Tienen resistencia a la alcalinidad y ácidos, con un peso específico igual que los agregados.	Componente de una mezcla de Slurry Seal, la cual es añadida en porcentaje respecto al peso seco del agregado.	Cantidad	Porcentaje de fibra de vidrio respecto al peso seco del agregado	%	Laboratorio, instrumentos de laboratorio según la ISSA TB 113, stock de fibra de vidrio, stock de agregado, emulsión asfáltica, ficha de laboratorio	ISSA TB 113: Mezclado de Slurry Seal	
VD: Comportamiento de un Slurry Seal	El slurry seal es una mezcla conformada por agregados, emulsión asfáltica, agua y filler. Es utilizado para fines de mantenimiento vial, ya que es capaz de penetrar y sellar grietas de baja severidad. También puede ser utilizado como carpeta de rodadura para pavimentos de bajo volumen de tránsito.	El Slurry Seal debe ser una mezcla altamente resistente al desgaste, exudación o deformación, agrietamiento, para su aplicación para fines de mantenimiento vial o carpeta de rodadura. La compatibilidad entre el agregado y residuo asfáltico debe ser muy buena, a fin de que la mezcla tenga un buen comportamiento frente a las condiciones de humedad, desgaste y temperatura.	Resistencia	Desgaste en condiciones húmedas	g/cm ²	Laboratorio, instrumentos de laboratorio según ISSA TB 100, fichas de laboratorio, EPP.	ISSA TB 100: Prueba por pérdida de abrasión por vía húmeda	
				Deformación		g/cm ² cm	Laboratorio, instrumentos de laboratorio según ISSA TB 109, fichas de laboratorio, EPP.	ISSA TB 109: Ensayo de rueda cargada
			Tiempo de Apertura al Tráfico	Torque	cm	Laboratorio, instrumentos de laboratorio según ISSA TB 146, fichas de laboratorio, EPP.	ISSA TB 139: Ensayo de cohesión	
			Diseño	Contenido óptimo de emulsión asfáltica	%	Hojas de cálculo	Método de intersección de curvas	

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo N°3: Cálculo de consistencia de Slurry Seal convencional

CONSISTENCIA ISSA TB - 106

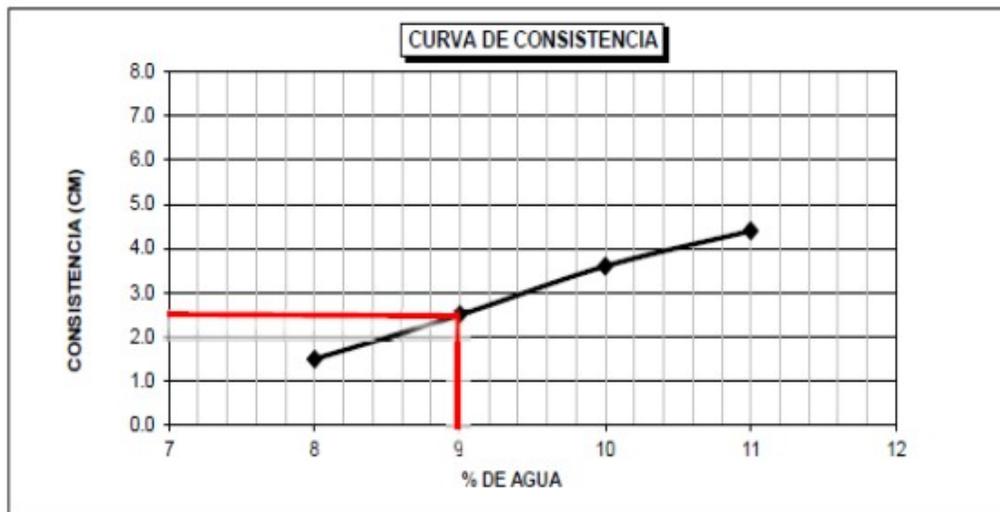
Proyecto: Comportamiento de un Slurry Seal con la Inclusión de Fibra de Vidro

Muestra: Slurry Seal Convencional

Solicitante: Guillermo Maza Acat - Renzo Vivas Espinoza

Fecha: 31/08/2022

N° de Ensayo	% DE AGUA	% DE ADITIVO	% DE FILLER	% DE EMULSION	CONSISTENCIA cm
1	8	0	1.0	14	1.5
2	9	0	1.0	14	2.5
3	10	0	1.0	14	3.6
4	11	0	1.0	14	4.4



OBSERVACIONES

Interceptado para una consistencia de 2.5 cm, tal como lo recomienda la ISSA

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo N°4: Cálculo del desgaste por abrasión vía húmeda del Slurry Seal convencional

WET TRACK ABRASION TEST
ISSA TB 100

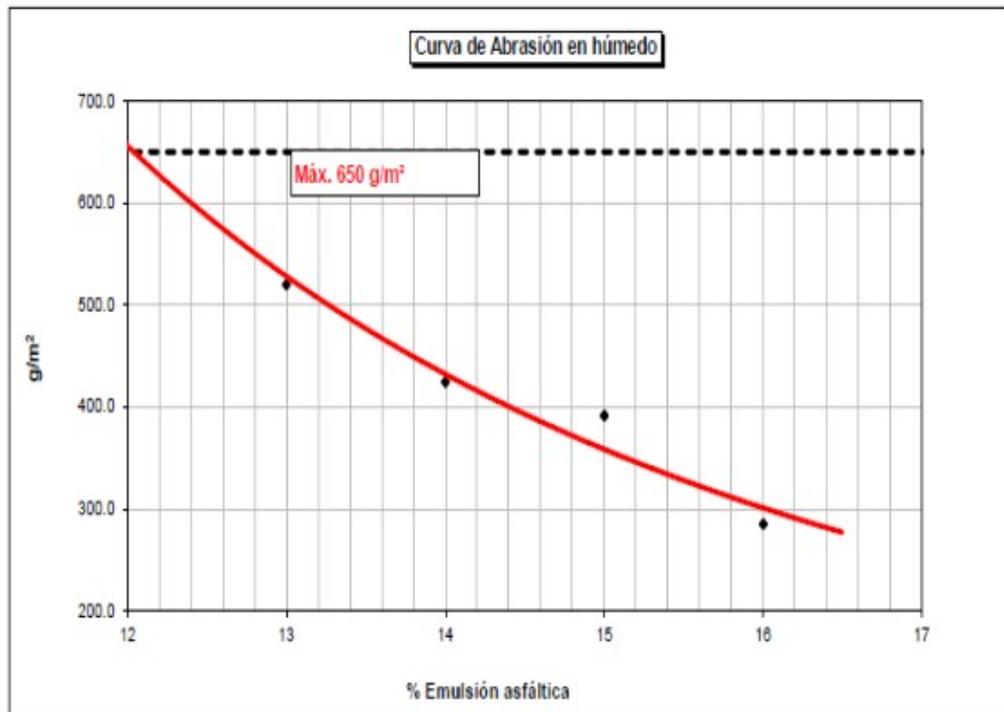
Proyecto: Comportamiento de un Slurry Seal con la Inclusión de Fibra de Vidrio

Fecha: 01/09/2022

Muestra: Slurry Seal Convencional

Solicitante: Guillermo Maza Acat - Renzo Vivas Espinoza

N° DE ENSAYO	% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA	% DE ASFALTO	PESO INICIAL g	PESO FINAL g	ABRASIÓN g	WTAT (g/m ²)
1	13	7.8	1351.9	1336.1	15.8	519.8
2	14	8.4	1357.6	1344.7	12.9	424.4
3	15	9.0	1358.0	1346.1	11.9	391.5
4	16	9.6	1359.4	1350.7	8.7	285.2



OBSERVACIONES:

Valor máximo permisible de acuerdo a ISSA TB 100: 650 g/m²

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo N°5: Cálculo de rueda cargada de Slurry Seal convencional

LOADED WHEEL TEST
ISSA TB 109

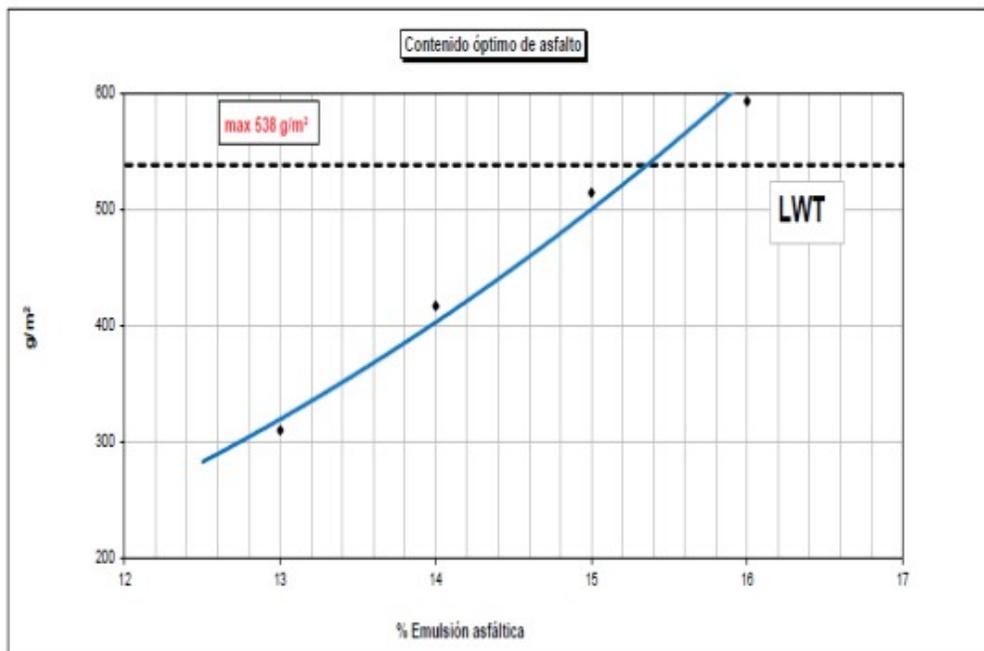
Proyecto: Comportamiento de un Slurry Seal con la Inclusión de Fibra de Vidrio

Fecha: 02/09/2022

Muestra: Slurry Seal Convencional

Solicitante: Guillermo Maza Acat - Renzo Vivas Espinoza

N° DE PRUEBA	% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA	% DE ASFALTO	PESO INICIAL g	PESO FINAL g	ARENA ADHERIDA g	AREA RODADURA		LWT (g/m ²)
						ANCHO cm	LARGO cm	
1	13.0	7.8	423.0	426.4	3.4	3.6	30.5	309.7
2	14.0	8.4	422.0	426.7	4.7	3.7	30.5	416.5
3	15.0	9.0	424.6	430.4	5.8	3.7	30.5	514.0
4	16.0	9.6	426.3	435.1	6.8	3.7	31.0	592.9



OBSERVACIONES:

Valor máximo permisible de acuerdo a ISSA TB 109: 538 g/m²

Fuente: Elaboración propia (2022)

COHESION ISSA TB-139

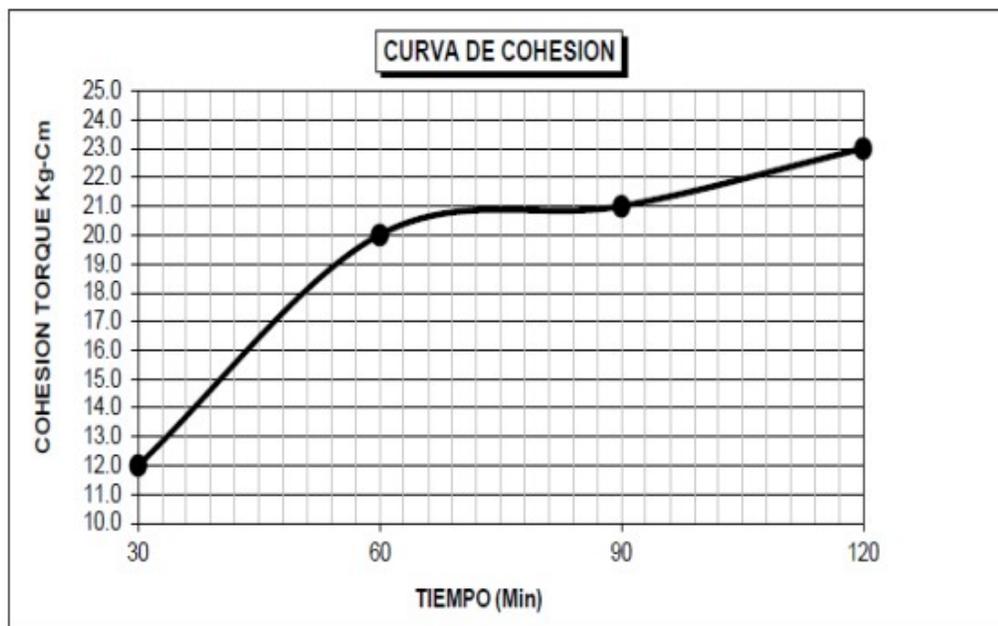
Proyecto: Comportamiento de un Slurry Seal con la Inclusión de Fibra de Vidrio

Muestra: Slurry Seal Convencional

Fecha: 05/09/2022

Solicitante: Guillermo Maza Acat - Renzo Vivas Espinoza

% DE EMULSIÓN	% DE FILLER	% DE AGUA	Torque (Kg-cm)			
			30 min	60 min	90 min	120 min
14.2	1.0	9	12.0	20.0	21.0	23.0



TIEMPO	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN
30 minutos	ISSA TB 139	12 kg-cm
60 minutos	ISSA TB 139	20 kg-cm

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo N°7: Cálculo de consistencia de Slurry Seal con fibra de vidrio

CONSISTENCIA ISSA TB - 106

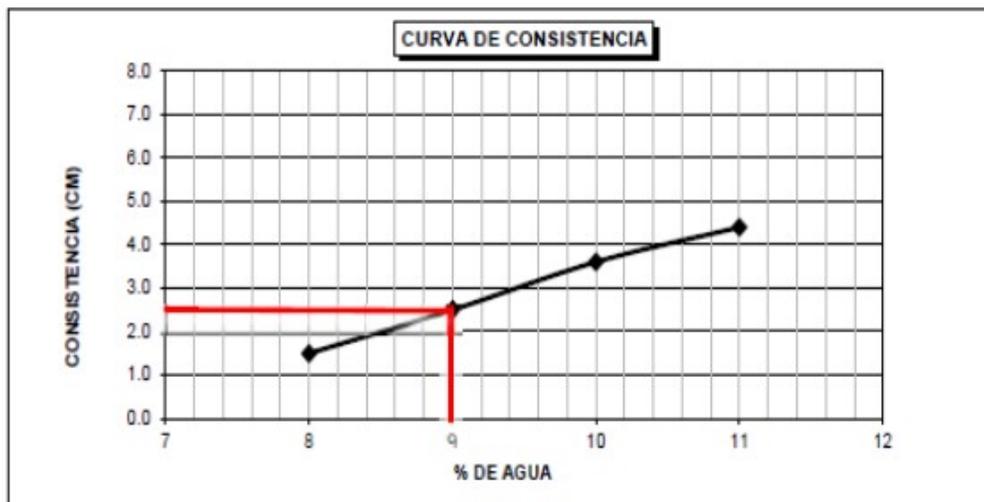
Proyecto: Comportamiento de un Slurry Seal con la Inclusión de Fibra de Vidrio

Muestra: Slurry Seal con Fibra de Vidrio

Solicitante: Guillermo Maza Acat - Renzo Vivas Espinoza

Fecha: 05/09/2022

N° de Ensayo	% DE AGUA	% DE ADITIVO	% DE FILLER	% DE EMULSION	CONSISTENCIA cm
1	8	0	1.0	14	1.5
2	9	0	1.0	14	2.5
3	10	0	1.0	14	3.6
4	11	0	1.0	14	4.4



OBSERVACIONES

Interceptado para una consistencia de 2.5 cm, tal como lo recomienda la ISSA

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo N°8: Cálculo desgaste por abrasión vía húmeda de Slurry Seal con fibra de vidrio

WET TRACK ABRASION TEST
ISSA TB 100

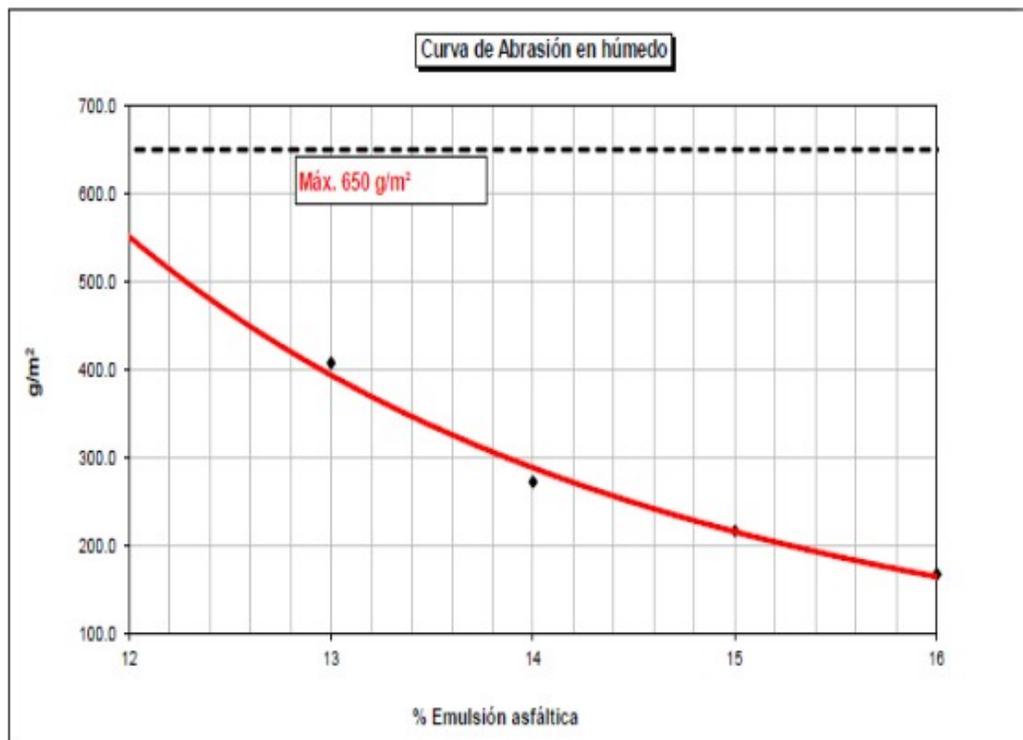
Proyecto: Comportamiento de un Slurry Seal con la Inclusión de Fibra de Vidrio

Fecha: 07/09/2022

Muestra: Slurry Seal con Fibra de Vidrio

Solicitante: Guillermo Maza Acat - Renzo Vivas Espinoza

N° DE ENSAYO	% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA	% DE ASFALTO	PESO INICIAL g	PESO FINAL g	ABRASIÓN g	WTAT (g/m ²)
1	13	7.8	1352.4	1340.0	12.4	408.0
2	14	8.4	1358.1	1349.8	8.3	273.1
3	15	9.0	1359.0	1352.4	6.6	217.1
4	16	9.6	1359.9	1354.8	5.1	167.8



OBSERVACIONES:

Valor máximo permisible de acuerdo a ISSA TB 100: 650 g/m²

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo N°9: Cálculo de rueda cargada de Slurry Seal con fibra de vidrio

LOADED WHEEL TEST
ISSA TB 109

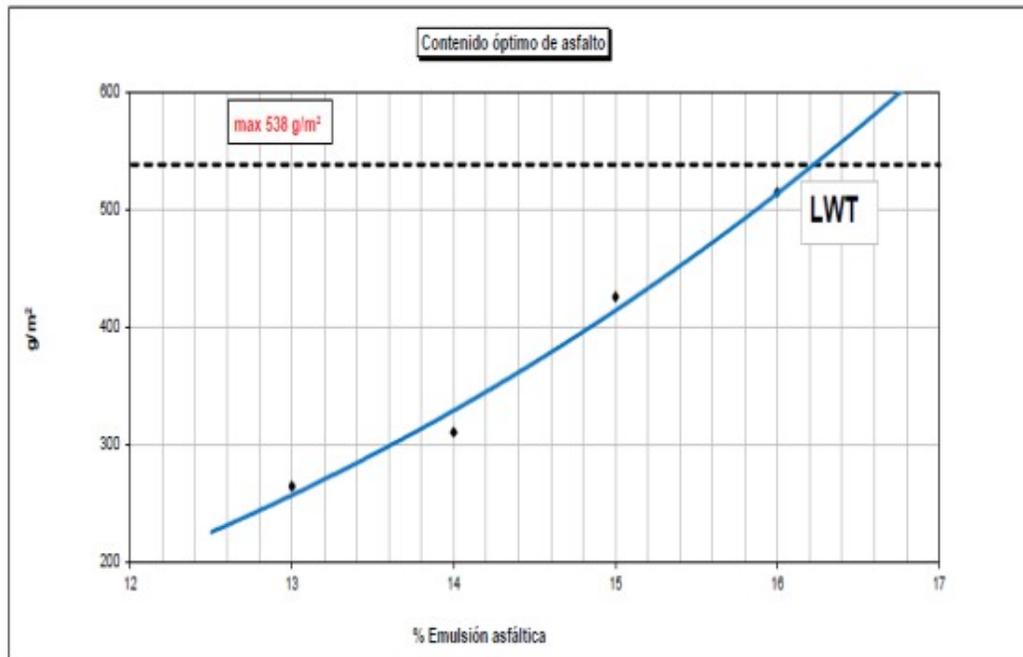
Proyecto: Comportamiento de un Slurry Seal con la Inclusión de Fibra de Vidrio

Fecha: 08/09/2022

Muestra: Slurry Seal con Fibra de Vidrio

Solicitante: Guillermo Maza Acat - Renzo Vivas Espinoza

N° DE PRUEBA	% DE EMULSIÓN ASFÁLTICA	% DE ASFALTO	PESO INICIAL g	PESO FINAL g	ARENA ADHERIDA g	AREA RODADURA		LWT (g/m ²)
						ANCHO cm	LARGO cm	
1	13.0	7.8	423.4	426.3	2.9	3.6	30.5	264.1
2	14.0	8.4	422.3	425.8	3.5	3.7	30.5	310.1
3	15.0	9.0	426.0	429.8	4.8	3.7	30.5	425.3
4	16.0	9.6	428.7	434.6	5.9	3.7	31.0	514.4



OBSERVACIONES:

Valor máximo permisible de acuerdo a ISSA TB 109: 538 g/m²

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo N°10: Cálculo de cohesión de Slurry Seal con fibra de vidrio

COHESION ISSA TB-139

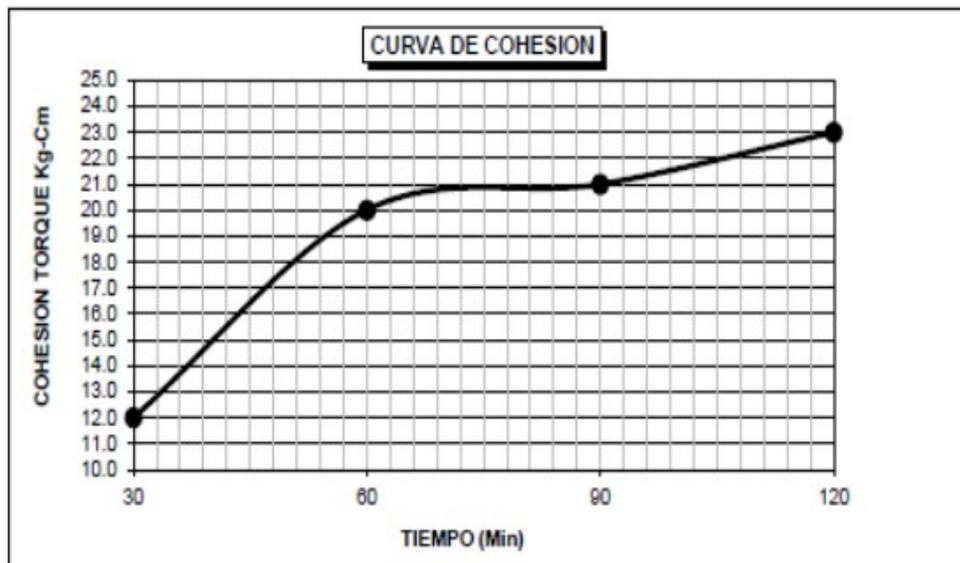
Proyecto: Comportamiento de un Slurry Seal con la Inclusión de Fibra de Vidrio

Muestra: Slurry Seal con Fibra de Vidrio

Fecha: 09/09/2022

Solicitante: Guillermo Maza Acat - Renzo Vivas Espinoza

% DE EMULSIÓN	% DE FILLER	% DE AGUA	Torque (Kg-cm)			
			30 min	60 min	90 min	120 min
13.8	1.0	9	12.0	20.0	21.0	23.0



TIEMPO	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN
30 minutos	ISSA TB 139	12 kg-cm
60 minutos	ISSA TB 139	20 kg-cm

Fuente: Elaboración propia (2022)

Carta de Responsabilidad

Mediante la presente carta, nosotros los tesisistas MAZA ACAT GUILLERMO ALONSO y VIVAS ESPINOZA, RENZO EDGAR; nos hacemos responsables de los resultados obtenidos en la presente investigación para las muestras de Slurry Seal patrón y Slurry Seal con fibra de vidrio, mostrados en el capítulo V, habiendo realizado nosotros mismos los cálculos correspondientes.



Guillermo Alonso Maza Acat
DNI: 71237643



Renzo Edgar Vivas Espinoza
DNI: 75860001