



UNIVERSIDAD LATINA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Licenciatura de Ingeniería Civil

Tesis de Grado

Análisis de la emulsión asfáltica de rompimiento lento CSS-1H como mitigador de polvo en caminos de lastre.

Autor:

Mauricio Reyes Aguilera

Tutor:

Carlos Solís Molina

Heredia, 19 de Mayo 2017



UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES*

“Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Reyes Aguilera, Mauricio José

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Civil.
autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Tesis de Grado
titulado:

Análisis de la emulsión asfáltica de rompimiento lento CSS-1h cómo mitigador de polvo en caminos de lastre.

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente en el caso de haber consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando, se obtenga la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 19 del mes 5 del año 2017 a las 10:00. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores* Según orden de mención al inicio de ésta carta:



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "Análisis de la emulsión asfáltica de rompimiento lento CSS-1H como mitigador de polvo en caminos de lastre", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:



ING. CARLOS ALBERTO SOLÍS MOLINA

TUTOR



ING. ERICK GUSTAVO CRUZ PADILLA

LECTOR



ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

COMITÉ ASESOR

ING. CARLOS ALBERTO SOLÍS MOLINA
TUTOR

ING. ERICK GUSTAVO CRUZ PADILLA
LECTOR

ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE
REPRESENTANTE DE RECTORÍA



**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 19 de Mayo, de 2017

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título Análisis de la emulsión asfáltica de rompimiento lento CSS-1H como mitigador de polvo en caminos de lastre, por parte del estudiante: Mauricio Reyes Aguilera , como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Ing. Carlos Solís Molina



**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 19 de Mayo, de 2017

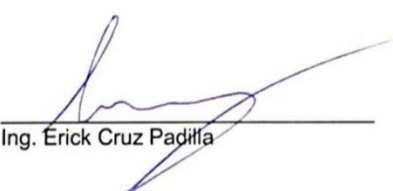
Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título Análisis de la emulsión asfáltica de rompimiento lento CSS-1H como mitigador de polvo en caminos de lastre, por parte del estudiante: Mauricio Reyes Aguilera, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Ing. Erick Cruz Padilla

Heredia, miércoles 17 mayo de 2017

Universidad Latina de Costa Rica

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Civil

Comité de Trabajos Finales de Graduación

Estimados señores:

He revisado el Trabajo Final de Graduación bajo el título: **Análisis de la emulsión asfáltica de rompimiento lento CSS - 1H como mitigador de polvo en caminos de lastre**. Realizado por el estudiante, Mauricio Reyes Aguilera, cédula 1 1456 0570, como requisito para optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Revisé el texto en lo relativo a la ortografía y puntuación, riqueza, propiedad y precisión léxicas, adecuación morfosintáctica, construcción de los párrafos, uso de conectores, cohesión. En este sentido, una vez incorporadas las recomendaciones efectuadas en el escrito, el documento está listo para su presentación ante las autoridades pertinentes.

Cordialmente,


Lic. María de los Ángeles Campos Hernández

Cédula 4 109 645

Miembro de la Asociación Costarricense de Filólogos, ACFIL

Carné 04242 de Colegio de Licenciados y Profesores

Teléfonos 22 62 8163 83 46 51 06

Marie.campos@hotmail.com

AGRADECIMIENTOS

Los conceptos y conocimientos necesarios para cerrar con éxito la Licenciatura en Ingeniería Civil, no hubiesen sido alcanzados sin la ayuda de:

Dios y a la Virgen que iluminaron el camino, dieron la protección y discernimiento para alcanzar la meta de poder obtener el título como ingeniero.

A los ingenieros, Carlos Solís y Erick Cruz, tutor y lector respectivamente, quienes apoyaron con sus conocimientos y dedicación incondicional, para poder alcanzar la meta.

A todos los ingenieros e ingenieras, así como personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Latina de Heredia, Costa Rica, por todos los conocimientos y ayuda brindados a lo largo de la carrera, para poder lograr una formación integral.

Al ingeniero Hugo Chávez y a la ingeniera Kimberling Molina, del Departamento de Laboratorio de Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, por permitir la utilización de las instalaciones y para poder realizar las pruebas necesarias en esta investigación y así como brindar todo el material bibliográfico e información necesaria para este trabajo de graduación.

A los operarios del laboratorio del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, por la ayuda al realizar las pruebas de laboratorio y en la manipulación de los equipos presentes.

A las cuadrillas presentes en la zona de Nicoya, Guanacaste, que recibieron y permitieron tomar la información necesaria para este trabajo de investigación, así como a los residentes de la zona por la hospitalidad brindada.

Asimismo, agradezco agradecer a todas las personas que directa e indirectamente han sido parte importante en este proceso.

DEDICATORIAS

A DIOS y a la Virgen de Guadalupe, por tenerme con vida, por permitirme cerrar una etapa muy importante y poder cumplir con un sueño. Han estado siempre iluminándome y haciéndome levantar cuando más lo necesitaba. Les dedico este éxito en mi vida y les agradezco de antemano todos los éxitos venideros, así como tenerlos presentes en las buenas y malas, dónde sé que puedo contar con su protección permanente.

A **Rigoberto Reyes Arguedas** y **Grace Aguilera López**, que han estado siempre, dándome todo su amor, comprensión, consejos, el apoyo condicional y sacrificios para que pueda alcanzar este sueño. Ellos son quienes me guían y en momentos difíciles A mis hermanos: **Daniel Reyes, Ericka Reyes, José David Reyes**, quienes también me han apoyado y aconsejado en todo momento. Los Amo.

A mis sobrinas quienes han sido un apoyo importante en este proceso.

A **Denisse Tenorio** por el apoyo, por estar conmigo, en momentos buenos y no tan gratos, por creer siempre en mí y hacerme saber que podía lograr esta meta. Te Amo.

A los colaboradores de la universidad que de alguna u otra forma me han ayudado en este logro, así como también a mis compañeros de carrera.

A mis **amigos**, especialmente a **Helberth Torres, Gloriana Coronado y Valeria Campos**, por estar siempre presentes y poder contar con ustedes en todo momento. Los quiero mucho.

Gracias Dios Mío y te pido que nunca me abandones. Amén.

Mauricio Reyes

RESUMEN

Este documento estudio investigación se centra en la emulsión asfáltica de rompimiento lento, tratamiento superficial que será aplicado en la red vial de lastre, específicamente en la zona de Guanacaste por parte del Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica. Los propósitos de dicha aplicación son disminuir el polvo y prevenir la contaminación y el efecto de este en la salud humana y animal.

En la presente investigación, se consideran dos etapas importantes; la primera de ellas se refiere a las pruebas de laboratorio realizadas a la mezcla asfáltica, específicamente con emulsión asfáltica de rompimiento lento. Como segunda etapa, se considera la colocación de la mezcla asfáltica, específicamente en las rutas 157 y en la ruta 150, ambas en la zona de Guanacaste.

Palabras claves: emulsión, rompimiento lento, lastre, Guanacaste, contaminación.

ABSTRACT

This following degree thesis focuses on the asphalt emulsion of slow breaking, surface treatment that will be applied in the ballast road network, specifically in the Guanacaste área by the Ministry of Public Works and Transport of Costa Rica. The principal purposes of this application are to decrease the dust and to prevent pollution and the effect it has in human beings and animal health.

In the present investigation, two important stages are considered; the first of them refers to the laboratory tests performed on the asphalt mixture, made with asphalt emulsion of slow breaking. As a second stage, is considered the placement of the asphalt mixture specifically on the routes 157 as in route 150, both in Guanacaste.

Key words: emulsion, slow breaking, ballast, Guanacaste, pollution.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del Problema de Investigación	4
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Justificación	5
1.5. Alcances y Limitaciones	5
1.5.1. Alcances.....	5
1.5.2. Limitaciones	6
1.6. Impacto.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Marco Teórico-Conceptual	8
2.1.1. Introducción.....	8
2.1.2. Tratamiento con emulsión asfáltica de rompimiento lento	8
2.1.2.1. Definición.....	8
2.1.2.2. Materiales	8
2.1.2.2.1. Emulsión Asfáltica	8
2.1.2.2.2. Clasificación de las emulsiones asfálticas.....	9
2.1.2.2.3. Material Granular.....	12
2.1.2.2.3.1 Ensayos de Caracterización.....	12
2.1.2.2.3.2. Límites de Atterberg (AASHTO T89, T90).....	12
2.1.2.2.3.3. Californian Bearing Ratio (AASHTO T193).....	13
2.1.2.2.3.4. Proctor Modificado (AASHTO T180)	13
2.1.2.2.3.5. Granulometría (AASHTO T27, T11)	13
2.1.2.2.4. Clasificación del Material Granular	14
2.1.2.2.5. Relleno Mineral.....	16
2.1.2.3. Pruebas de Laboratorio	16
2.1.2.3.1 Contenido Total de Fluidos.....	16

2.1.2.3.2.	Prueba Residuos En La Emulsión Asfáltica (ASTM D244)....	17
2.1.2.3.3.	Prueba Peso Unitario Emulsión Asfáltica (ASTM D244)	18
2.1.2.3.4.	Prueba Análisis Emulsión Asfáltica (ASTM D244).....	19
2.1.2.3.5.	Pruebas de Resistencia a Tensión Indirecta	20
2.1.2.3.6.	Preparación de Especímenes.....	20
2.1.2.3.7.	Compactación de Especímenes	21
2.1.2.3.8.	Curado de los Especímenes.....	22
2.1.2.3.9.	Prueba de Densidad Bruta	22
2.1.2.3.10.	Resistencia a la Tensión Indirecta (AASHTO T283).....	23
2.1.2.4.	Diseño Estructural	26
2.1.2.4.1.	Tránsito Vehicular.....	26
2.1.2.4.2.	Suelo de subrasante.....	27
2.1.2.4.3.	Materiales	27
2.1.2.4.4.	Procedimiento de Diseño.....	28
2.1.2.5.	Desempeño a fatiga y deformación permanente.	33
2.1.2.6.	Proceso Constructivo.....	34
2.1.2.7.	Mantenimiento y control de calidad	39
2.1.2.7.1.	Mantenimiento	39
2.1.2.7.2.	Control de Calidad.....	40
2.1.2.7.3.	Control de calidad del agregado para sello asfáltico	40
2.1.2.7.4.	Control de calidad de la emulsión asfáltica.....	41
2.1.2.7.5.	Control de calidad del diseño de mezcla	41
2.1.2.7.6.	Control de calidad de la capa de sello asfáltico.....	42
2.2.	Marco Situacional.	43
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO		46
3.1.	Enfoque Metodológico	47
3.2.	Categorías de Análisis de la Investigación.	47
3.3.	Técnicas e Instrumentos para Recolección de Datos.....	47
3.3.1.	Recolección de información.	48
3.3.2.	Visitas al sitio.	48
3.4.	Técnicas e Instrumentos para el Análisis de Datos	48
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS		49

4.1. Análisis De Resultados: Pruebas De Laboratorio.....	50
4.1.1. Contenido total de fluidos y emulsión.....	50
4.1.1.1. Contenido total de fluidos y emulsión en la mezcla TK 157.....	50
4.1.1.2. Contenido total de fluidos y emulsión en la mezcla TK 155.....	52
4.1.2. Porcentaje de residuos.	53
4.1.2.1. Porcentaje de residuos en mezcla CSS-1h TK157.....	54
4.1.2.2. Porcentaje de residuos para mezcla CSS-1h TK 155.....	55
4.1.3. Pruebas de peso unitario	58
4.1.3.1. Prueba de peso unitario emulsión CSS-1h TK 157.	58
4.1.3.2. Prueba de peso unitario emulsión CSS-1h TK 155.	59
4.1.4. Pruebas de resistencia a tensión indirecta y retenida.....	59
4.1.4.1. Prueba resistencia a la tensión indirecta y retenida para emulsión CSS1-h TK 157.....	59
4.1.4.2. Prueba resistencia a la tensión indirecta y retenida para emulsión CSS1-h TK 155.....	65
4.2. Análisis De Resultados: Diseño Estructural.....	71
4.2.1. Diseño estructural de pavimento en la ruta 150.....	71
4.2.2. Diseño estructural de pavimento en la ruta 157	73
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....	76
CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES.....	80
CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFIA.....	82
CAPITULO VIII. ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Plan General de Emergencia por Sequía, Decreto 38642. Protección de la Salud y el Ambiente. Acciones Bajo el Régimen de Excepción (Monto en Colones).	3
Cuadro 2: Clasificación de las Emulsiones Asfálticas Según las Normas ASTM Y AASHTO	10
Cuadro 3: Especificaciones Para Emulsiones Asfálticas de Rompimiento Lento .	11
Cuadro 4: Especificaciones Para Limites de Atteberg	12
Cuadro 5: Especificaciones Para CBR	13
Cuadro 6: Granulometría Recomendada Para Material Granular A Estabilizar	14
Cuadro 7: Indicadores Para Clasificación MEA	15
Cuadro 8: Categorías de Tránsito Vehicular Propuesto.	26
Cuadro 9: Subrasante de Acuerdo con CBR	27
Cuadro 10: Características de los Materiales Para Diseño Estructural de Pavimentos.	27
Cuadro 11: Catalogo de Diseño de Pavimento Para T1 (Espesores en cm)	29
Cuadro 12: Catalogo de Diseño de Pavimento Para T2 (Espesores en cm)	30
Cuadro 13: Catálogo de Diseño de Pavimentos Para T3 (Espesores en cm)	31
Cuadro 14: Catálogo de Diseño de Pavimentos Para T4 (Espesores en cm)	32
Cuadro 15: Estimación de la Vida a Fatiga.	33
Cuadro 16: Rangos Requeridos Para la Granulometría de los Agregados en Tratamientos Superficiales.	38
Cuadro 17: Cantidades Aproximadas de Material Para Tratamientos Superficiales Simples	39
Cuadro 18: Recomendaciones de Conservación Para Caminos con Sellos Asfálticos	40
Cuadro 19: REQUISITOS DE CONTROL PARA EL DISEÑO DE MEZCLA PARA SELLO CON EMULSIÓN DE ROMPIMIENTO LENTO.	41
Cuadro 20: Requisitos de Control Para la Capa de Sello Asfáltico Integral con Emulsión de Rompimiento Lento.	42
Cuadro 21: Dosificación Para Pastillas TK 157 al 2%	51
Cuadro 22: Dosificación Para Pastillas TK 157 al 2.5%.....	51
Cuadro 23: Dosificación Para Pastillas TK 157 al 3%	52
Cuadro 24: DOSIFICACIÓN PARA PASTILLAS TK 155 AL 2%	52
Cuadro 25: Dosificación Para Pastillas TK 155 al 2.5%.....	53
Cuadro 26: Dosificación Para Pastillas TK 155 al 3%	53
Cuadro 27: Pesos de los Beaker	54
Cuadro 28: Pesos Beaker más Emulsión Asfáltica TK 157.	54
Cuadro 29: Porcentaje de Residuos Para Mezcla CSS-1h TK 157	55

Cuadro 30: Pesos de los Beaker	55
Cuadro 31: Pesos Beaker más Emulsión Asfáltica TK 155	56
Cuadro 32: Porcentaje de Residuos Para Mezcla CSS-1h TK 155.	56
Cuadro 33: Pesos Beaker.....	57
Cuadro 34: Pesos de los Beaker más Emulsión Asfáltica TK 155.....	57
Cuadro 35: Porcentaje de Residuos Para Mezcla CSS-1h TK 155	57
Cuadro 36: Pesos del Picnómetro Sin Emulsión y Con Emulsión TK 157.....	58
Cuadro 37: Promedio del Peso de los Picnómetros Sin/Con Emulsión TK 157....	58
Cuadro 38: Pesos del Picnómetro Sin/Con Emulsión TK 155	59
Cuadro 39: Promedio del Peso de los Picnómetros Sin/Con Emulsión TK 155...	59
Cuadro 40: Cálculo de ITS Para Pastillas 2% de Emulsión TK 157	60
Cuadro 41: Cálculo de ITS Para Pastillas 2.5% de Emulsión TK 157	61
Cuadro 42: Cálculo de ITS Para Pastillas 3% de Emulsión TK 157	62
Cuadro 43: Cuadro Resumen ITS Acondicionado y Sin Acondicionar TK 157	63
Cuadro 44: Cálculo de ITS Para Pastillas 2% de Emulsión TK 157	66
Cuadro 45: Cálculo de ITS Para PASTILLAS 2.5% de Emulsión TK 155.....	67
Cuadro 46: Cálculo de ITS Para Pastilla 3% de Emulsión TK 155	68
Cuadro 47: Cuadro Resumen ITS Acondicionado y Sin Acondicionar TK 155	68
Cuadro 48: Cálculo de ESALs Para la Ruta 157	73

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Ejemplo de Gráfico de Densidad.....	22
Gráfico 2: "Resistencia ITS VS % Emulsión" Sin Acondicionar	24
Gráfico 3: "Resistencia ITS VS % Emulsión" Acondicionados.....	24
Gráfico 4: "Resistencia TSR VS % Emulsión".....	25
Gráfico 5: "Vida a Fatiga"- Años vs Espesor Base Granular (cm)	34
Gráfico 6: Gráfico de ITS Sin Acondicionar TK 157.....	64
Gráfico 7: Gráfico de ITS Acondionadas TK 157	64
Gráfico 8: Gráfico de TSR TK 157	65
Gráfico 9: Gráfico de ITS Sin Acondicionar TK 155.....	69
Gráfico 10: Gráfico de ITS Acondionadas TK 155	69
Gráfico 11: Gráfico de TSR TK 155	70
Gráfico 12: Cálculo de ESALs Para la Ruta 150.....	71
Gráfico 13: Porcentaje de Vehículos Pasando Por la Ruta 150.....	71
Gráfico 14: Porcentaje de Vehículos Que Pasan Por la Ruta 157	74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Vista Aérea de las Instalaciones del Laboratorio de Materiales Del MOPT	43
Ilustración 2: Vista Aérea de la Sección de Ruta 157, Mansión-Casitas. Nicoya, Guanacaste.	44
Ilustración 3: Vista Aérea de la Sección de Ruta 150, San Antonio-Florida, Ubicada en Nicoya, Guanacaste.	45

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1. Antecedentes

La Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica, en su “Plan de la Emergencia por Sequía”, publicado en el Diario La Gaceta N° 195, del viernes 10 de octubre del 2014 describe lo siguiente:

De conformidad con la Ley 4888¹, este plan presenta una explicación causal del evento de la sequía, pondera los daños y pérdidas generados, delimita las acciones que las instituciones llevarán a cabo para atender los efectos y brinda una estimación de los recursos necesarios, así como las vías de acción.(Comisión Nacional de Emergencia, 2015, pág. 1)

De igual manera, el documento contempla las acciones relacionadas con la atención de la insuficiencia de agua para el consumo, las implicaciones en la salud y el ambiente.(Comisión Nacional de Emergencia, 2015, pág. 1).

La merma de precipitaciones y los aumentos de temperaturas, influyen directamente en la sequía a la que se enfrentan varias comunidades. Esta falta de lluvia y altas temperaturas generan daños colaterales que afectan posteriormente la salud humana y animal, el ambiente y la actividad social/productiva de la comunidad; dichos aspectos deberían ser tratados de manera oportuna y previa a su agravamiento.

Las instituciones propuestas por la Comisión Nacional de Emergencias para generar acciones de prevención y solución del problema, deberán apearse al régimen de excepción publicado en el “Plan de Emergencia por Sequía”, el cual menciona que “se debe atender la emergencia provocada por la sequía, cuyo énfasis es la recuperación del sector agropecuario, el abastecimiento de agua para el consumo humano, la protección del ambiente y la salud”. (Comisión Nacional de Emergencia, 2015, pág. 8).

¹ Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo.

En el siguiente cuadro se observa la manera en que las instituciones propuestas, como los montos en colones destinados por la Comisión Nacional de Emergencias, son utilizados para apoyar la protección de la salud y el ambiente.

Cuadro 1: Plan General de Emergencia por Sequía, Decreto 38642. Protección de la Salud y el Ambiente. Acciones Bajo el Régimen de Excepción (Monto en Colones).

SECTOR	INSTITUCIÓN EJECUTORA	OBRAS O ACCIONES A REALIZAR	RESULTADO ESPERADO	PERIODO	FUENTE DE RECURSOS	MONTO ESTIMADO
Ambiente	Ministerio de Ambiente y Energía – Dirección de Aguas	Contratación de recursos humano para elaborar un reglamento que regule las labores de mitigación del impacto por desalinización de agua.	Reducir impacto al ambiente por los proyectos de desalinización.	Enero – Febrero, 2015	Fondo Nacional de Emergencias.	3.000.000,00
	Ministerio de Ambiente y Energía – Sistema de Áreas de Conservación – Dirección Regional de Guanacaste	Preparación para el control de incendios, compra de maquinaria, equipo y logística operativa, dotación de equipo y entrenamiento a brigadas comunales, adquisición de equipo especializado.	Reducción significativa del daño ambiental y económico previsto por el incremento de incendios forestales debido a la fuerte sequía del 2014.	Enero – Julio, 2015		927.000.000,00
Obras Públicas y Transporte	Ministerio de Obras Públicas y Transportes - Dirección de Obras Públicas - CONAVI*	Atender la red vial nacional y apoyar a las municipalidades para la intervención de carreteras construidas en lastre para el control de la contaminación por polvo.	Evitar la contaminación por polvo y el efecto en la salud humana y animal, particularmente en la Provincia de Guanacaste.	Febrero – Junio, 2015	Fondo Nacional de Emergencias.	2.985.651.730,00
Total del Área de Acción						3,915,651,730,00
TOTAL DE ACCIONES						

Fuente: Comisión Nacional de Emergencias, 2015, pág. 18.

La Comisión Nacional de Emergencias, nombra al Ministerio de Obras Públicas y Transportes, en apoyo con los gobiernos locales, con el fin de que unan esfuerzos para darle tratamiento y mantenimiento a las rutas afectadas; a causa de la cantidad de polvo presente en las carreteras, tanto de lastre como de tierra. El Ministerio de Obras Públicas y Transportes, específicamente en la zona de Nicoya, Nandayure y Hojancha, utilizará el método de estabilización, tratamiento y mantenimiento con emulsión asfáltica de rompimiento lento, como principal agente en la mezcla asfáltica.

Para efectos de este trabajo, la atención se centra en evaluar la efectividad de la aplicación del sello asfáltico con emulsión de rompimiento lento CSS-1H para caminos en lastre, en las rutas 150 y 157 ubicadas en Guanacaste, región afectada por los efectos de la sequía en el 2014. Así mismo, en identificar y

analizar los beneficios que conlleva dicha aplicación para la protección de la salud y el ambiente.

1.2. Planteamiento del Problema de Investigación

Debido a la continua necesidad de mejores carreteras en Costa Rica, específicamente en aquellas zonas que sufrieron las consecuencias de la sequía, como Guanacaste, se plantea la siguiente pregunta:

¿Cuál es el efecto de la aplicación del sello asfáltico con emulsión de rompimiento lento CSS-1H para caminos en lastre en las vías 150 y 157 de Guanacaste, Costa Rica?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Evaluar la efectividad de la aplicación del tratamiento superficial con emulsión de rompimiento lento CSS-1H para caminos en lastre en las vías 150 y 157 de Guanacaste, Costa Rica.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Describir el proceso de dosificación y aplicación del tratamiento con emulsión de rompimiento lento CSS-1H.
- Realizar los ensayos a los dos tipos de emulsiones asfálticas, por residuo de evaporación y peso unitario.
- Elaborar pastillas Marshall y realizar prueba de falla a tensión diametral, entre los dos tipos de emulsiones.
- Identificar qué tipo de emulsión asfáltica se adaptará mejor al entorno en que se irá a utilizar.
- Demostrar que la emulsión que no pasa por malla #20, tiene un funcionamiento correcto, tanto en campo, como en laboratorio.

1.4. Justificación

En el siguiente apartado, se mencionan los aspectos más relevantes en los cuales se desarrolla esta tesis de investigación:

- Aspecto social: Dados los problemas ocasionados por la sequía y las temperaturas altas en los últimos años y sustentado por el “Plan General de la Emergencia por Sequía”, la urgencia por realizar un tratamiento correcto para poder mitigar el polvo y poder así controlar la contaminación, se considera sumamente importante.
- Aspecto experimental/práctico: La investigación se centra en las siguientes preguntas: ¿Qué tipo de tratamiento utilizarán las instituciones del Estado para atacar el problema de residuo de polvo en las carreteras de lastre? Y, además, ¿Cuáles pruebas de laboratorio confirman la calidad del tratamiento a utilizar y su efectividad en campo? Una vez cuestionados los dos temas por el investigador, se obtiene, se analiza y se comprueban los datos con el fin de que la importancia de la investigación sea aún mayor.

1.5. Alcances y Limitaciones

1.5.1. Alcances

Mediante la recopilación bibliográfica realizada sobre el problema suscitado en las zonas del “interior” del país (a causa de la sequía y las altas temperaturas), así como los textos referentes a la teoría experimental como práctica de la emulsión asfáltica de rompimiento lento que se utiliza en las rutas de lastre de la zona afectada, se demuestra mediante las pruebas de laboratorio la factibilidad del uso de las emulsiones de rompimiento lento, para ser implementadas en el tratamiento y mantenimiento de las rutas de lastre y polvo.

De igual manera, se busca crear consciencia de que este tipo de rutas deben ser tratadas con antelación y se les debe dar un buen mantenimiento, ya que, con las

crecientes temperaturas, sus consecuencias pueden no solo afectar el estado de la carretera, sino también, la salud humana, animal y el medio ambiente.

1.5.2. Limitaciones

Las principales limitaciones que se pueden presentar en el trabajo de investigación son las siguientes:

- El presente documento no presenta pruebas de laboratorio de los agregados ni de las emulsiones asfálticas, sin embargo, cabe destacar que se presentan las fichas técnicas otorgadas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y la Refinadora Costarricense de Petróleo, las cuales demuestran la calidad de los materiales utilizados, tanto en pruebas de laboratorio como en campo.
- A pesar de ser estudiadas y mencionadas más adelante, no se presenta una comparación entre la emulsión de rompimiento lento y su respectivo tratamiento, con los otros tipos de emulsiones y sus aplicaciones, tanto en campo como en laboratorio.

1.6. Impacto

Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio son la base de la presente investigación, ya que, gracias a estos resultados, se puede aplicar y demostrar la calidad del tratamiento, así como también su facilidad de colocación.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Teórico-Conceptual

2.1.1. Introducción

En este capítulo, se ahondan los conceptos generales y básicos que se deben conocer sobre el tratamiento con emulsión asfáltica de rompimiento lento, tales como su composición química, clasificación, componentes, tipos de ensayo, diseño de mezcla, tipo de colocación, mantenimiento y control de calidad.

2.1.2. Tratamiento con emulsión asfáltica de rompimiento lento

2.1.2.1. Definición

Se define como tratamiento superficial con emulsión asfáltica de rompimiento lento a “la forma de estabilizar parcial o totalmente una capa de material granular, utilizando emulsiones asfálticas de rompimiento lento y luego la colocación de una capa superficial de impermeabilizante” (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 5).

A continuación, se profundiza en los materiales que componen la mezcla presente en el tratamiento superficial de rompimiento lento.

2.1.2.2. Materiales

2.1.2.2.1. Emulsión Asfáltica

Las emulsiones asfálticas se conocen como las suspensiones de pequeñas partículas de asfalto en agua, además, por contener un agente emulsivo, ya sea catiónico, aniónico y no iónicas; estas últimas tres características determinan el carácter de la emulsión.

La emulsión asfáltica consta de tres componentes o ingredientes básicos, los cuales son:

- **Asfalto:** Entre un 50% y 70% es su presencia dentro de la emulsión asfáltica, es el componente más importante dentro de esta.
- **Agua:** El segundo componente de mayor importancia; se deben verificar los niveles de Ph del agua y de la compatibilidad del agua con la emulsión.

- Agente emulsivo: Estos agentes serán los que mantengan las gotas de asfalto en una suspensión estable y quién controla el tiempo de rotura.

2.1.2.2.2. Clasificación de las emulsiones asfálticas

Previamente, se indica que las emulsiones se clasifican en tres grandes grupos; estas contarán siempre con dos compuestos, los cuales son los ánodos y cátodos. A continuación, se presenta la clasificación de las emulsiones:

- Emulsiones aniónicas: Se denominan como corrientes eléctricas que pasan por una emulsión con partículas de asfalto cargadas negativamente, estas se irán hacia el ánodo. Estas emulsiones tienen una mejor trabajabilidad con los agregados alcalinos. (Instituto de Asfalto; Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas, 4ta edición).
- Emulsiones catiónicas: A la inversa de las emulsiones aniónicas, las partículas cargadas positivamente, se irán hacia el cátodo. Estas emulsiones se trabajan mejor con los agregados sílices. (Instituto de Asfalto; Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas, 4ta edición).
- Emulsiones no-iónicas: En este caso, las emulsiones no se ven afectadas por corrientes eléctricas y las partículas de asfalto no se concentrarán ni en los ánodos, ni en los cátodos. (Instituto de Asfalto; Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas, 4ta edición).

Cabe destacar que las emulsiones aniónicas y las catiónicas, son las de uso en la construcción vial.

Dentro de la clasificación de las emulsiones asfálticas, existe un segundo punto, el cual se refiere a la velocidad en que las gotas de asfalto se adhieren, restaurando el volumen de cemento asfáltico. (Instituto de Asfalto; Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas, 4ta edición, pág. 6).

Existen varios términos para denotar las emulsiones asfálticas, las cuales delimitan la velocidad en la cual la emulsión rompe en contacto con los agregados, estos son:

- RS: Rompimiento rápido (Rapid-setting)
- MS: Rompimiento medio (Medium-setting)
- SS: Rompimiento lento (Slow-setting). Esta emulsión será de objeto de estudio en esta investigación.

Por último, las emulsiones se clasifican con un número, esto para mostrar la viscosidad de la emulsión y letras para la consistencia del asfalto. Es importante describir que si una emulsión es de clasificación “C” es de origen catiónico y si está ausente de esta letra, es de origen aniónico,

La letra “h” muestra que la emulsión asfáltica dura (*hard*), mientras que la letra “s” dice que la emulsión es suave (*soft*).

Para terminar este apartado, se muestra un cuadro compilatorio, realizado con datos de las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) y las normas AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), en sus publicaciones ASTM D977, AASHTO M140, ASTM D2397 y AASHTO M208, en las que se muestran las clasificaciones de las emulsiones.

Cuadro 2: Clasificación de las Emulsiones Asfálticas Según las Normas ASTM Y AASHTO

Emulsión Asfáltica (ASTM D977, AASHTO M140)	Emulsión Asfáltica Catiónica (ASTM D2397, AASHTO M208)
RS-1 (<i>RR-1</i>)	CRS-1 (<i>CRR-1</i>)
RS-2	CRS-2
HFRS-2	---
MS-1 (<i>RM-1</i>)	---
MS-2	CMS-2 (<i>CRM-2</i>)
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	---
HFMS-2	---
HFMS-2h	---
HFMS-2s	---
SS-1 (<i>RL-1</i>)	GSS-1 (<i>GRL-1</i>)
SS-1h	CSS-1h

Fuente: Instituto de Asfalto & Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas, 4ta Edición, pág. 6.

Para efectos de esta investigación este estudio se utiliza una emulsión CSS-1h, la cual es catiónica de rompimiento lento, con una viscosidad de grado 1 y de una consistencia dura.

¿Por qué utilizar una emulsión catiónica de rompimiento lento?

Aparte de ser de las más adecuadas para estos tipos de tratamiento, las emulsiones asfálticas de rompimiento lento son fáciles de esparcir sobre el material granular (sub-base, base), dando como resultado una muy buena trabajabilidad en el proceso constructivo. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 12).

En la siguiente tabla, se muestran los parámetros de calidad a los que se tienen que someter las emulsiones asfálticas, específicamente, las emulsiones de rompimiento lento.

Cuadro 3: Especificaciones Para Emulsiones Asfálticas de Rompimiento Lento

Ensayo	Unidades	Norma AASHTO	CSS-1	CSS-1h	SS
Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C	SFS	T 72	20-100	20-100	20-100
Estabilidad a 24 h	%	T 59	1 máx.	1 máx.	1 máx.
Tamizado por malla N°20	%	T 59	0,10 máx.	0,10 máx.	0,10 máx.
Carga eléctrica	---	T 59	Positiva	Positiva	Negativa
Destilación, residuo	%	T 59	57 mín.	57 mín.	57 mín.
Penetración a 25 °C, 100 g, 5s	1/100 mm	T 49	100-250	40-90	40-90
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min	cm	T 51	40 mín.	40 mín.	40 mín.
Solubilidad en tricloroetileno	%	T 44	97,5 mín.	97,5 mín.	97,5 mín.
Media tamaño de partícula	µm	-	Entre 3 y 10		

Fuente: Comisión Nacional de Emergencias, 2015, pág. 12.

Para efectos del documento de investigación, se hizo uso de dos emulsiones asfálticas de rompimiento lento, la emulsión “CSS-1h TK155” (ver anexo 1) y la emulsión “CSS-1h TK157” (ver anexo 2); cabe destacar que la primera no cumplía con Norma ASTM D-6933 (% pasando por malla 20), mientras la segunda; sí cumplía con todos los parámetros anteriormente descritos.

2.1.2.2.3. Material Granular

Se debe tener en cuenta que al igual que la emulsión asfáltica, los materiales granulares cuentan con una clasificación y que se debe realizar su previa caracterización, esto con el fin de evaluar si el material es apto para un tratamiento con emulsión de rompimiento lento. (ver anexo 3).

A continuación, se presentan los ensayos necesarios para la caracterización del material granular.

2.1.2.2.3.1 Ensayos de Caracterización

Los ensayos de caracterización son propuestos por las normas AASHTO T89, T90, T193, T180, T27 y T11, los cuales se describen más adelante.

2.1.2.2.3.2. Límites de Atterberg (AASHTO T89, T90)

Cuadro 4: Especificaciones Para Límites de Atterberg

Ensayo	Material	Especificación (Para capa de base designado a tránsito < 6 Millones de ESALs)	No aceptable
Índice de plasticidad IP	Piedra Picada	>10	> 7
	Grava natural	6-12	
	Suelo Gravoso	>11	
	Arenas o Limos arcillosos	-	

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2013, pág. 8

Para el tipo de tratamiento a realizar, no es recomendable que el índice de plasticidad sea mayor al 10%; cabe destacar que se puede tratar el material con cal para poder reducir el IP. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2013, pág. 8).

2.1.2.2.3.3. *Californian Bearing Ratio (AASHTO T193)*

Al realizar esta prueba de laboratorio, se mide la resistencia a cortante del material granular y así se puede evaluar la calidad del mismo para ser utilizado como subrasante, subbase o base.

A continuación, se muestra un cuadro con las especificaciones dadas por la norma T193 de la AASHTO, las cuales deben ser utilizadas en el momento de realizar una estabilización o tratamiento con emulsión asfáltica.

Cuadro 5: Especificaciones Para CBR

Ensayo	Material	Especificación (Para capa de base designado a tránsito < 6 Millones de ESALs)	No aceptable
CBR	Piedra Picada	25-80	< 10
	Grava natural	>25	

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2013, pág. 8.

2.1.2.2.3.4. *Proctor Modificado (AASHTO T180)*

Esta norma o prueba, determina la relación que existe entre el contenido de humedad presente en el material y el peso unitario seco del material compactado.

2.1.2.2.3.5. *Granulometría (AASHTO T27, T11)*

En el cuadro 6, se muestran los parámetros de granulometría adecuados para una estabilización, donde se realiza la caracterización del material, utilizando la norma AASHTO T-27 que se enfoca en los gruesos, mientras que la norma AASHTO T-

11 se centra en los finos; en este apartado, lo ideal es que el material que pasa por malla N°200, no vaya exceder el 20%.

Cuadro 6: Granulometría Recomendada Para Material Granular A Estabilizar

Tamiz		Porcentaje pasando cada tamiz (%)			
		Granulometría recomendada		Granulometría menos adecuada	
N°	mm	Límite grueso	Límite fino	Límite grueso	Límite fino
2"	50	100	100	100	100
1,5"	37,5	87	100	100	100
1"	25	76	100	100	100
3/4"	19	65	100	100	100
1/2"	12,5	55	90	90	100
3/8"	9,5	48	80	80	100
1/4"	6,7	41	70	70	100
N° 4	4,75	35	62	62	88
N° 8	2,36	25	47	47	68
N° 16	1,18	18	36	36	53
N° 30	0,600	12	27	27	42
N° 40	0,425	10	24	24	38
N° 50	0,300	8	21	21	34
N° 100	0,150	3	16	16	27
N° 200	0,075	2	10	10	20

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 10.

2.1.2.2.4. Clasificación del Material Granular

Al igual que con las emulsiones asfálticas, los materiales granulares también tienen su propia clasificación, esto dependiendo de dos variables, la calidad de su material de origen y el tráfico/volumen de diseño.

Esta clasificación se realiza en tres grandes sectores, los cuales se mencionan seguidamente:

- MEA1: Material con alta resistencia al cortante, generalmente utilizado como base para un tráfico de diseño igual o mayor a 6 millos de ESALs (ejes equivalentes). Su fuente será roca triturada, pavimento asfáltico reciclado (RAP) o una mezcla de estos dos materiales. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 8).
- MEA2: Material con una resistencia más moderada al cortante, se utiliza como capa base para un tráfico de diseño entre 3 y 6 millones de ESALs. Se emplea generalmente grava natural graduada o un RAP. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 8).
- MEA3: El material que conforma este apartado, generalmente será un suelo-grava o arena, estabilizados con asfalto. Se utiliza como capa base para tráficos menores a 3 millones de ESALs. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 8).

La siguiente tabla muestra y define los requerimientos para la clasificación y caracterización de los materiales, según la lista anteriormente mostrada.

Cuadro 7: Indicadores Para Clasificación MEA

Ensayo	MEA1	MEA2	MEA3	No apto
	>6 MESALs	3-6 MESALs	<3 MESALs	
	Roca triturada bien graduada, RAP y/o mezclas de ambos	Gravas naturales graduadas, mezclas de varios materiales, RAP	Suelo-grava y/o arena	Gravas pobres, suelos y materiales plásticos
MATERIAL SIN ESTABILIZAR				
Índice de Soporte California (CBR)	> 80 %	25 – 80 %	10 – 25 %	< 10 %
Índice de plasticidad (IP)	< 6	6 – 10	10 - 15	>15
Pasando malla N°200	2 – 15 %	2 – 20 %	2 – 25 %	> 25 %

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 9.

2.1.2.2.5. Relleno Mineral

Los rellenos minerales, comúnmente utilizados en nuestro país, son el cemento, la cal hidratada y el polvo de piedra. Existen varios propósitos para incorporar este tipo de activos al material granular. Según el Laboratorio Nacional de Materiales, en su informe “Sello Integrado con Emulsión Asfáltica de Rompimiento Lento”, se observan las ventajas de usar estos rellenos sobre el material granular:

- Mejora en la adhesión del asfalto/agregado.
- La dispersión del asfalto en la mezcla, se hace de una forma más correcta.
- Se reduce el índice de plasticidad.
- Se gana más resistencia, ya que la mezcla se vuelve más rígida.
- Aceleración del curado de la mezcla

Un indicador potencial de que la mezcla deberá usar relleno natural, será cuando se realicen los ensayos de tensión indirecta y el tipo de relleno a utilizar quedará a criterio de costo, desempeño y disponibilidad del mismo.

2.1.2.3. Pruebas de Laboratorio

Antes de iniciar las pruebas de laboratorio sobre el tratamiento superficial con emulsión asfáltica, se debe realizar la caracterización del material granular, para tener así un criterio sobre si el material es adecuado para utilizar en el tratamiento; también se debe tener la ficha técnica de la emulsión asfáltica con todas las especificaciones técnicas mostradas en el cuadro 3.

A continuación, se nombran y detallan los ensayos realizados en esta investigación.

2.1.2.3.1 Contenido Total de Fluidos.

Este ensayo se realiza con el fin de obtener el dato sobre la cantidad óptima de fluido con que deberá contar la mezcla asfáltica, para luego confeccionar las pastillas Marshall.

Se deben obtener propiamente de la caracterización del material granular, los datos como la cantidad óptima de la humedad (esto obtenido del ensayo de Proctor), el porcentaje de humedad del material y de la emulsión asfáltica.

En las siguientes ecuaciones, se observa la forma de averiguar la cantidad de agua y emulsión asfáltica necesaria:

$$W_{nec} = \left(\frac{W_{ofc}}{100} * W_{mue} \right) - C_{emu} (1)$$

$$E_{nec} = \frac{Cant.Material * \% Asfalto}{\% Residuo} (1.1)$$

Donde:

- W_{nec} : Contenido de agua a utilizar.
- W_{ofc} : Contenido óptimo de humedad obtenido de la prueba Proctor.
- W_{em} : Porcentaje de agua contenido en la emulsión.
- W_{mat} : Porcentaje de humedad del material.

2.1.2.3.2. Prueba Residuos En La Emulsión Asfáltica (ASTM D244)

Esta prueba es de suma importancia, ya que arroja datos sobre el porcentaje de residuos que tiene la emulsión asfáltica.

Antes de iniciar la prueba de residuos, se deber tener a disposición los siguientes materiales:

- 3 Beaker
- Emulsión Asfáltica
- Jeringa
- Horno

Una vez disponibles los materiales, se continúa con los siguientes pasos:

1. Se pesan los tres beaker por separado.
2. Se vierte 50 g de emulsión en cada beaker y se tapa con papel aluminio, de forma que no quede totalmente cerrada.
3. Se ingresan los beaker con emulsión al horno por 2 horas a 160°C.

4. Posteriormente, se sacan del horno, se agitan y se meten al horno por 1 hora adicional.
5. Los beaker con emulsión se dejan enfriar y luego se pesarán.
6. Con los beaker respectivamente enfriados, se usa la siguiente fórmula:

$$\% \text{residuos: } (P_{\text{seco}} - P_{\text{beaker}}) * 2(2)$$

Donde:

- P_{seco} : Peso de la emulsión asfáltica, previamente tratada.
- P_{beaker} : Peso del beaker sin emulsión asfáltica.
- % Residuos: Porcentaje de residuos presentes en la emulsión asfáltica, se encuentra en un rango de 60% a 66%.

2.1.2.3.3. Prueba Peso Unitario Emulsión Asfáltica (ASTM D244)

Esta prueba se hace con el fin de estimar el peso unitario presente en las emulsiones asfálticas.

Para llevar esta prueba a cabo, se necesitan de los siguientes materiales:

- Picnómetro
- Beaker
- Jeringa
- Emulsión
- Balanza

Una vez listos los materiales en el laboratorio, se siguen los pasos determinados a continuación:

1. Se pesa el picnómetro en la balanza (ver anexo 4)
2. Se agrega la emulsión asfáltica del beaker al picnómetro, utilizando la jeringa siguiendo lo estipulado en el ASTM D244. (ver anexo 5)
3. En la balanza se pesa el picnómetro con la emulsión asfáltica incorporada. (ver anexo 6)

4. El proceso se repite tres veces y se tabulan los datos; una vez tabulados los datos, se calculan los promedios, tanto de los pesos del picnómetro como del picnómetro con la emulsión incorporada, para luego aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Peso Unitario: } (P_p - P_{pe}) * Fd(3)$$

Donde:

- P_p : Es el promedio del peso del picnómetro sin emulsión asfáltica.
- P_{pe} : Se denota como el promedio de los pesos del picnómetro con emulsión asfáltica incluida.
- Fd : Es el factor de densidad que se debe aplicar, se usa 0,4542 como el Fd .

2.1.2.3.4. Prueba Análisis Emulsión Asfáltica (ASTM D244)

Con esta prueba, se encuentra el peso de la emulsión contenido en malla #200, se cuantifica como un porcentaje. Este dato se puede verificar con el que fue dado por RECOPE.

Para llevar esta prueba a cabo, se necesita lo siguiente:

- Emulsión Asfáltica
- Charola
- Malla #200
- Horno
- Balanza

Igual que en las anteriores pruebas, se debe seguir un lineamiento; léase a continuación:

1. Se pesa la charola con la malla #200. (ver anexo 7)
2. Se extrae 1 Kg de emulsión asfáltica, se pesa para tener seguridad del dato obtenido (Ver anexo 8)
3. Seguidamente la emulsión asfáltica se va lavando en la malla #200.
4. Luego de haber lavado la emulsión asfáltica, la charola se ingresa dentro del horno a una temperatura de 110 °C, como lo indica la norma ASTM-D244. (ver anexo 9)
5. Al sacar la charola del horno y pesarla en la balanza, se obtiene un nuevo peso. el cual se restará al peso inicial y así se encuentra el porcentaje retenido en la malla #200.

2.1.2.3.5. Pruebas de Resistencia a Tensión Indirecta

Una vez listas las pruebas anteriores, especialmente, la prueba de contenido óptimo de fluidos, es posible empezar a realizar los diferentes diseños de mezcla, para así confeccionar las pastillas Marshall.

Como se menciona anteriormente, lo ideal es realizar estas pruebas con diferentes tipos de porcentaje de emulsión asfáltica; el contenido de emulsión y de agua, se ve afectado directamente por el porcentaje de asfalto que se llegue a utilizar.

2.1.2.3.6. Preparación de Especímenes

Antes de iniciar con la confección de las pastillas Marshall, se debe contar con los siguientes materiales:

- Balanza
- Beaker
- Jeringa
- Emulsión Asfáltica
- Material Granular
- Bandejas
- Bolsas
- Horno

Una vez disponibles los materiales, se procede a confeccionar los especímenes. Cabe destacar que como recomendación del LANAMME, en su “Procedimiento de Diseños de Mezcla”, lo ideal es realizar al menos 6 especímenes para cada porcentaje de asfalto.

Para efectos de esta investigación, se realizaron 8 especímenes para cada porcentaje de asfalto (2%, 2,5%, 3%), en total, 24 especímenes para cada emulsión asfáltica utilizada.

Con los materiales listos, se procede a preparar las pastillas Marshall, utilizando los siguientes pasos o lineamientos presentes en la guía de diseño de mezcla del LANAMME.

1. Se mezcla el material granular, es recomendable utilizar muestras de entre 1140 g, 1150 g o 1160 g, luego de esto, se agrega la cantidad de agua necesaria y se mezcla durante 30 segundos, asegurando que todo el material granular se vean afectados por el agua.
2. Luego de tener la mezcla de material granular empapada, se vierte la emulsión asfáltica necesaria, para luego comenzar a revolver hasta asegurar una masa homogénea. (Ver anexo 10)
3. Luego de tener la mezcla lista, se agrega el producto en los moldes, hay que asegurar que los moldes estén limpios, así como sus platos base.

2.1.2.3.7. Compactación de Especímenes

Habiendo realizado la previa mezcla asfáltica, se procede a realizar la compactación de los especímenes, para lograr la correcta compactación de los, este se realiza lo siguiente:

1. Con la mezcla dentro de los moldes, se dan 15 espátulazos al perímetro de este y 10 en el centro de la mezcla asfáltica.
2. Seguidamente, se coloca el molde en la compactadora Marshall y se dan 75 golpes por cada lado del molde.

2.1.2.3.8. Curado de los Especímenes

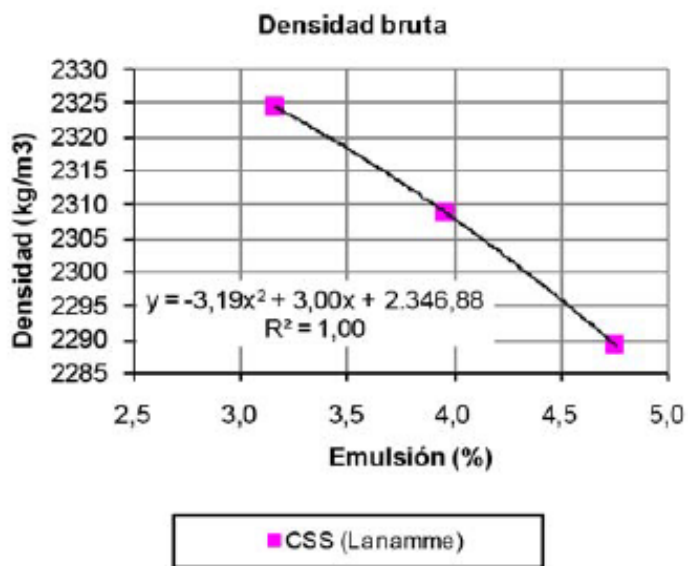
Completado el proceso de compactación de los especímenes, se continúa con el respectivo curado de los mismos. A continuación, se detallan los pasos a seguir para un correcto curado:

1. Compactados los moldes, se dejan 24 horas a temperatura ambiente. Pasado este tiempo, se remueven los especímenes del molde con la ayuda de una prensa.
2. Con los especímenes libres de su molde, se corresponde a ingresarlos al horno a una temperatura de 40 °C en un tiempo de 72 horas.

2.1.2.3.9. Prueba de Densidad Bruta

Con el curado realizado, se procede con los cálculos necesarios antes de ingresar los especímenes a la prensa y así probar su resistencia. Lo primero será tomar el peso, la altura y el diámetro de cada pastilla, para luego tabular los datos (,) por tipo de emulsión, promedio de peso, altura y diámetro y así poder representar las densidades correspondientes, como se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfico 1: Ejemplo de Gráfico de Densidad



Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2013.

2.1.2.3.10. Resistencia a la Tensión Indirecta (AASHTO T283)

Realizada toda la determinación de densidad de los especímenes, se procede a determinar la resistencia a tensión indirecta, pero antes de esto, se debe dividir los especímenes en dos grupos:

- Sin Acondicionar: En el caso de esta investigación, las cuatro primeras pastillas serán nombradas “pastillas secas” o “pastillas sin acondicionar”.
- Acondicionadas: Las pastillas del cinco a la ocho, se consideran acondicionadas las cuales se deben dejar a 25 °C por 24 horas.

Luego de haber subdividido las pastillas en no-acondicionadas y acondicionadas, se procede a fallar las pastillas en la prensa hidráulica (ver anexo 11) y determinar la resistencia de cada espécimen.

Estos datos se deben tabular, al igual que los datos de peso, diámetro y altura, para luego poder utilizar la siguiente fórmula, la cual indica la tensión indirecta que soporta cada pastilla.

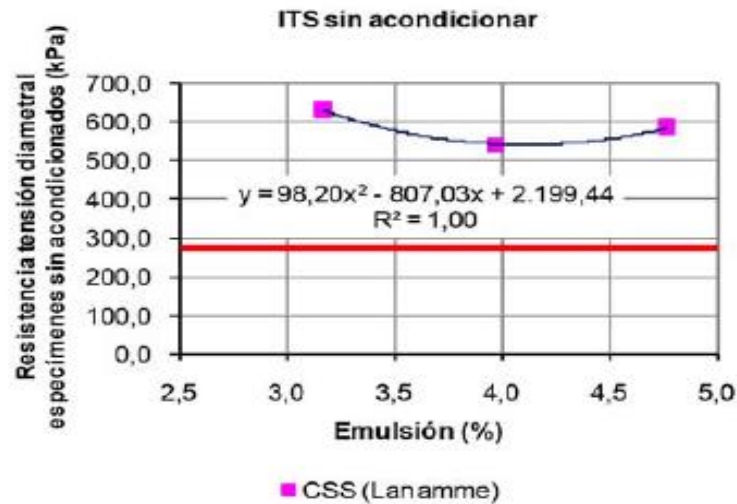
$$ITS: \frac{2000xP}{\pi xhxl} (4)$$

Donde:

- ITS: Resistencia a tensión indirecta (kPa)
- P: Carga Máxima, (N)
- h: Altura Máxima (mm)
- d: Diámetro de la pastilla (mm)

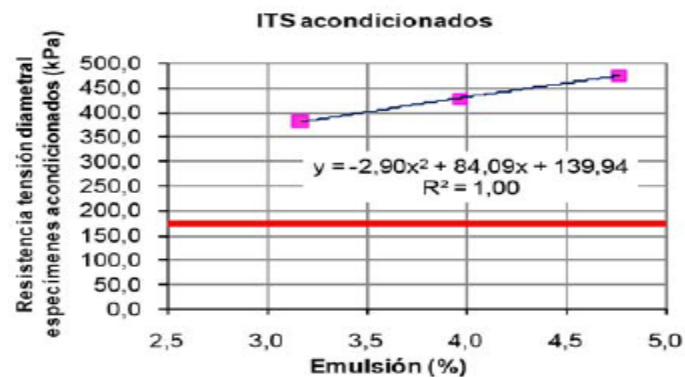
Con los resultados listos, se procede a representar los datos de la siguiente forma: resistencia a tensión diametral vs porcentaje utilizado de emulsión asfáltica; esto se hace para los especímenes sin acondicionar y especímenes acondicionados, como se muestra en los siguientes gráficos:

Gráfico 2: “Resistencia ITS VS % Emulsión” Sin Acondicionar



Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2013, pág. 26.

Gráfico 3: “Resistencia ITS VS % Emulsión” Acondicionados



Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2013, pág. 26.

Con los resultados de las pastillas, tanto secas como saturadas, debidamente tabuladas y graficadas, se aplica la fórmula para obtener la razón de resistencia retenida “TSR”, la cual el LANAMME en su “Procedimiento de Diseño de Mezcla”,

define como la relación entre el promedio de ITS seco y el promedio de ITS saturado; la ecuación se muestra a continuación:

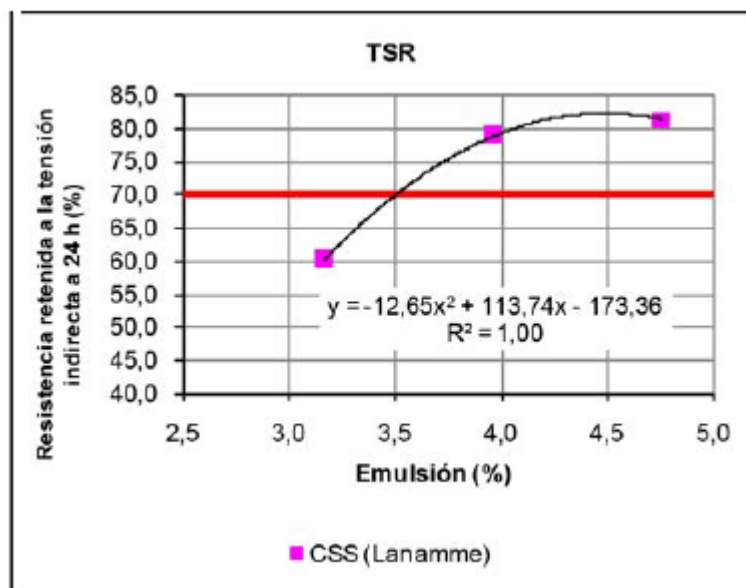
$$TSR: \frac{ITS_{saturado}}{ITS_{seco}} \times 100(5)$$

Dónde:

- TSR: Razón de resistencia retenida %
- $ITS_{saturado}$: Promedio de resistencia a tensión indirecta en las pastillas acondicionadas (kPa)
- ITS_{seco} : Promedio de resistencia a tensión indirecta en los especímenes no acondicionados (kPa)

Al igual que con la resistencia a tensión indirecta, los valores obtenidos en la razón de resistencia retenida se deben graficar, como se muestra en el ejemplo siguiente:

Gráfico 4: “Resistencia TSR VS % Emulsión”.



Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2013, pág. 26.

2.1.2.4. Diseño Estructural

La metodología de diseño de espesores para la aplicación del sello asfáltico se basa en el AAHSTO 93, el cual dicta las guías de diseño para estructuras de pavimento. A continuación, se detallan los criterios utilizados por el AAHSTO 93 para realizar el diseño de las estructuras de pavimentos, en este caso, un tratamiento superficial.

2.1.2.4.1. Tránsito Vehicular

En este apartado, influyen tres variables determinadas que fueron determinadas por el Laboratorio Nacional de Materiales y el anuario de tránsito del MOPT para rutas de lastre, las cuales son:

- Tránsito Promedio Diario (TPD)
- Vehículos Pesados Diarios (VPD)
- Ejes Equivalentes (ESALS)

En el cuadro adjunto, se puede observar las cuatro categorías de tránsito vehicular propuestos, de acuerdo con las anteriores variables.

Cuadro 8: Categorías de Tránsito Vehicular Propuesto.

Designación	Tránsito Promedio Diario (TPD)	Vehículos pesados por día (VPD)	ESALs (5 años)
T1	≤15	≤3	≤ 3 000
T2	16-50	3-10	3 001-10 000
T3	51-150	21-30	10 001-30 000
T4	151-500	31-100	31 000-100 000

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 31.

2.1.2.4.2. Suelo de subrasante

De acuerdo con la capacidad de soporte dado por el CBR del material, se determina el suelo de subrasante con su respectivo módulo de resiliencia, en el cuadro 9, se puede observar de forma detallada.

Cuadro 9: Subrasante de Acuerdo con CBR

Designación	CBR (%)	Mr (psi)	Mr (MPa)
S1	≤3.0	≤4 500	≤31.0
S2	3.1-5.0	4 501-7 500	31.1-51.7
S3	5.1-10.0	7 501-13 400	51.8-92.4
Referencias para el cálculo de MR a partir de CBR			
Referencia	Rango CBR	Ecuación	
Heukelom & Klomp (1962)	<7.2	$Mr(\text{psi}) = 1500 * CBR$	
CSIR (Witczak et al. 1995)	7.2-20	$Mr(\text{psi}) = 3000 * CBR^{0.65}$	
AASHTO 93	>20	$MR(\text{psi}) = 4326 * \ln(CBR) + 241$	

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág.31.

2.1.2.4.3. Materiales

En la categoría de materiales se consideran cuatro características básicas, las cuales resumen datos del CBR, módulos de resiliencia (MR) y coeficientes estructurales y de drenaje, asignados en el AASHTO 93. El cuadro 14 muestra las designaciones del material.

Cuadro 10: Características de los Materiales Para Diseño Estructural de Pavimentos.

Designación	Material	CBR (%)	Mr (psi)	Mr (Mpa)	Coefficiente Estructural a_i	Coefficiente Drenaje m_i
RA	Riego Asfáltico (Emulsión de rompimiento lento con gravilla)	-	-	-	-	-
SA	Sello Asfáltico (5cm de material granular estabilizado con emulsión de rompimiento lento)	≥80	260000 (inicial) 80 000 (terminal)	1800 (inicial) 500 (terminal)	0.200	1
BG	Capa granular de rodadura (TM40-B) Base Granular (Graduación C o D)	≥80	28000	195	0.135	0.8
GE	Capa granular existente	≥20	14000	97	0.110	0.8
S	Suelo subrasante	Indicado en Tabla 11		-	-	-

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 32.

2.1.2.4.4. Procedimiento de Diseño

Con los anteriores pasos definidos, se definen los espesores de diseño para la estructura de pavimento a construir. El proceso de diseño se apoya en un catálogo de pavimentos, en el cual se mantiene un estándar de 5 cm para la capa de sello asfáltico (SA), así como los 10 cm de la capa granular existente (GE). Con los datos anteriores claros, los espesores que presentarán un cambio serán, la capa granular de rodadura (BG), esto dependiendo del tránsito vehicular presente (ver cuadro 8) y la capacidad de soporte. (Ver cuadro 9).

A continuación, se adjuntan los catálogos, que se utilizan para el diseño de estructuras de pavimentos presentes en el informe “Sello Integrado con Emulsión Asfáltica de Rompimiento Lento”.

Cuadro 11: Catalogo de Diseño de Pavimento Para T1 (Espesores en cm)

SUELO		TRÁNSITO T1	
		TPD ≤ 15 VPD ≤ 3 ESAL $\leq 3\ 000$	
CBR ≤ 3	S1		
		5	SA
		15	BG
CBR=3.1-5.0	S2		
		5	SA
		10	BG
CBR=5.1-10.0	S3		
		5	SA
		7	BG
		10	GE
			S

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 42

Cuadro 12: Catalogo de Diseño de Pavimento Para T2 (Espesores en cm)

SUELO		TRÁNSITO T2		
		TPD=16-50 VPD=4-10 ESAL=3 001-10 000		
CBR≤3	S1	5	RA	SA
		20		BG
		10		GE
				S
CBR=3.1-5.0	S2	5	RA	SA
		12		BG
		10		GE
				S
CBR=5.1-10.0	S3	5	RA	SA
		10		BG
		10		GE
				S

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 43.

Cuadro 13: Catálogo de Diseño de Pavimentos Para T3 (Espesores en cm)

SUELO		TRÁNSITO T3		
		TPD=51-150 VPD=11-30 ESAL=10 001-30 000		
CBR≤3	S1	5	RA	SA
		28		BG
		10		GE
				S
CBR=3.1-5.0	S2	5	RA	SA
		20		BG
		10		GE
				S
CBR=5.1-10.0	S3	5	RA	SA
		12		BG
		10		GE
				S

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 44.

Cuadro 14: Catálogo de Diseño de Pavimentos Para T4 (Espesores en cm)

SUELO		TRÁNSITO T4		
		TPD=151-500 VPD=31-100 ESAL=30 001-100 000		
CBR≤3	S1	5	RA	SA
		35	BG	
		10	GE	S
CBR=3.1-5.0	S2	5	RA	SA
		25	BG	
		10	GE	S
CBR=5.1-10.0	S3	5	RA	SA
		18	BG	
		10	GE	S

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 45.

2.1.2.5. Desempeño a fatiga y deformación permanente.

El LANAMME realizó varios ensayos, usando dos métodos para medir la respuesta mecánica del pavimento estabilizado con emulsión asfáltica, los cuales son el Método Sudafricano y el Método de Erasmus-Liebennberg.

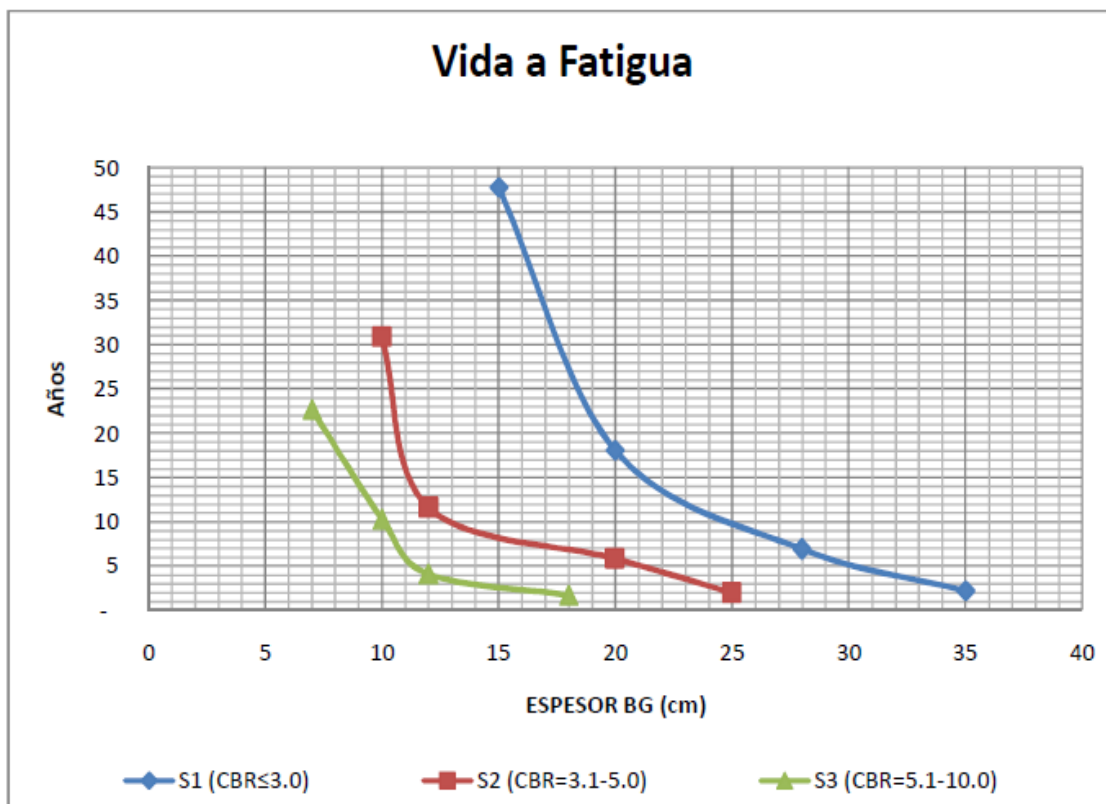
En el cuadro 15, se pueden observar los resultados obtenidos para la vida a fatiga, esto probándolos en cada uno de las estructuras de pavimentos mencionados anteriormente (ver cuadros 11,12,13,14). Estos datos se pueden graficar como Años vs Espesor de la base granular. (Ver gráfico 5).

Cuadro 15: Estimación de la Vida a Fatiga.

SR	BG (cm)	Categoría Tránsito	TPD	VPD	ESALS diseño	Fatiga (ESALS)	Vida a fatiga (años)
S1 (CBR≤3.0)	15	T1	15	3	3,000.00	33,304	48
	20	T2	50	10	10,000.00	41,831	18
	28	T3	150	30	30,000.00	47,452	7
	35	T4	500	100	100,000.00	48,483	2
S2 (CBR=3.1-5.0)	10	T1	15	3	3,000.00	21,495	31
	12	T2	50	10	10,000.00	26,730	12
	20	T3	150	30	30,000.00	39,921	6
	25	T4	500	100	100,000.00	43,366	2
S3 (CBR=5.1-10.0)	7	T1	15	3	3,000.00	15,769	23
	10	T2	50	10	10,000.00	23,606	10
	12	T3	150	30	30,000.00	27,956	4
	18	T4	500	100	100,000.00	36,466	2

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 37.

Gráfico 5: "Vida a Fatiga"- Años vs Espesor Base Granular (cm)



Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 35.

En el caso del desempeño ante la deformación permanente, se utilizan los mismos métodos para determinar la vida a fatiga.

2.1.2.6. Proceso Constructivo

Dadas las condiciones de bajo volumen vehicular en las carreteras a tratar, se recomienda realizar la mezcla en sitio por medio, de recuperadora o motoniveladora.

Antes de mencionar el proceso constructivo, se debe mencionar el equipo con el que se debe realizar, el cual es el siguiente:

- Motoniveladora: Es utilizado a lo largo del proceso constructivo, tiene tareas específicas y de gran importancia como escarificar el material granular, distribuir el material en la capa que se requiera y conformar la calzada, esto antes de ser compactada. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 46), (ver anexo 12)
- Tanque distribuidor de emulsión: El tanque debe cumplir ciertos requerimientos tales como contar con 1500 litros de capacidad, aspersores ajustables con un ancho mínimo de 4,6m, tacómetro, manómetro, termómetro y un dispositivo para medir el volumen de mezcla asfáltica aplicada sobre la superficie. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 47), (ver anexo 13)
- Tanque distribuidor de agua: Se utiliza para la distribución de agua, con el fin de alcanzar la humedad de compactación adecuada. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 47).
- Compactador vibratorio de rodillo liso: Para la respectiva compactación de la capa estabilizada, se utilizan compactadoras con rodillo delantero liso, llanta de hule trasera o bien con doble rodillo, con un peso de 7 a 10 Toneladas. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 47) , (ver anexo 14)
- Distribuidor de agregado: Utilizada principalmente para labores de distribución de agregado con funciones de impermeabilización. Entre las condiciones que debe cumplir, está la de contar con 4 llantas de hule en 2 ejes. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 47).

Para la construcción, tanto del paño de prueba (el cual se exige que tenga una longitud mínima de 100 metros y se realiza para calibrar y definir los trabajos a realizar posteriormente como el número de pasadas del compactador vibratorio), el de la calzada, se deben de seguir los siguientes lineamientos y cómo complemento, (Ver anexos 15, 16,17,18,19,20 y 21).

1. Escarificación del material granular: Con la ayuda de la motoniveladora, se irán removiendo las partículas que presenten sobre-tamaño u otros materiales inadecuados que se presentan en las capas a tratar. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 47).
2. Homogenización y distribución: Luego del proceso de eskarificación, con la motoniveladora, se extenderá el material granular para ser homogeneizado. Se aprovecha para realizar el chequeo de humedad previo al riego de la emulsión. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 48).
3. Mezclado en sitio y tendido con motoniveladora: Con la ayuda de las cuchillas de la motoniveladora, se construirá un cordón por el cual se distribuirá la emulsión asfáltica, luego con las cuchillas en posición de mezclado; se mueve el material con emulsión hasta el otro lado de la calzada y se conforma otro cordón, el mezclado y homogeneidad se deben de verificar visualmente, si se nota segregación de partículas, se debe de repetir el proceso y así garantizar una mezcla homogénea, en la parte final(,) se procede a extender y distribuir la mezcla homogénea del material granular con la emulsión de rompimiento lento. No se debe de agregar agua después de aplicada la emulsión. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 48).
4. Compactación y acabado: Antes de realizar la compactación, se debe de verificar la humedad. Cuando se inicia la compactación de la mezcla, no debe exceder los 3 km/h y se debe pasar el rodillo vibratorio con alta frecuencia, yendo de los bordes de la calzada hasta el centro la misma. En las zonas de difícil acceso como cordones de caño, alcantarillas o muros, se utilizarán compactadores de menor tamaño, como planchas vibratorias o “sapos brincones”. Luego de haber compactado el tramo se debe verificar que la compactación sea igual o mayor al 95% de lo obtenido en la prueba de Proctor Modificado (AASHTO T180), ya en sitio, se comprobará con el densímetro nuclear, teniendo la comprobación de compactación lista, la

capa superficial se corta con la ayuda de la motoniveladora, esto con el fin de darle el bombeo necesario a la carretera. Para finalizar la compactación, se realiza una última pasada con el rodillo vibratorio a una baja velocidad. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, págs. 48-49).

5. Curado: Con el tramo de carretera tratada con la emulsión de rompimiento lento, se debe de cerrar el tránsito vehicular por un periodo de 24 horas, esto con el fin de evitar daños a temprana edad en la vía. Como medida extra para evitar daños y deterioros en la carretera, se realiza la aplicación de un tratamiento superficial bituminoso, el cual se verá a continuación. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 49).
6. Tratamiento superficial bituminoso: Según el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes, CR2010, se debe aplicar un tratamiento superficial simple (sección 411.11)(Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 49). Existen varias recomendaciones a la hora de aplicar el tratamiento superficial simple, tales como:
 - Humedecer la capa estabilizada con la emulsión de rompimiento lento, así como, chequear que la capa esté libre de material suelto, en caso de que exista algún deterioro, repararlo de manera inmediata.
 - A la hora de seleccionar el agregado, se utilizarán las columnas E y F la tabla 703-11 del CR-2010.

Cuadro 16: Rangos Requeridos Para la Granulometría de los Agregados en Tratamientos Superficiales.

Tabla 703-11
Rangos requeridos para la granulometría de los agregados en tratamientos superficiales de simple y múltiple capa

Malla	Porcentaje por peso que pasa la malla estándar (AASHTO T 27 y AASHTO T 11)					
	Designación de la Granulometría					
	A	B	C	D	E	F
37,5 mm	100 ⁽¹⁾					
25 mm	90 - 100 (3)	100 ⁽¹⁾				
19 mm	0 - 35 (5)	90 - 100 (3)	100 ⁽¹⁾			
12,5 mm	0 - 8 (3)	0 - 35 (5)	90 - 100 (3)	100 ⁽¹⁾		
9,5 mm	---	0 - 12 (3)	0 - 35 (5)	85 - 100 (3)	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾
4,75 mm	---	---	0 - 12 (3)	0 - 35 (5)	85 - 100 (3)	85 - 100
2,36 mm				0 - 8 (3)	0 - 23 (4)	---
75 µm	0 - 1 (1)	0 - 1 (1)	0 - 1 (1)	0 - 1 (1)	0 - 1 (1)	0 - 10

(1) El procedimiento estadístico no aplican.

() La tolerancia permisible (\pm) se indica entre paréntesis

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010. Pág. 668

- A la hora de realizar la dosificación, existen dos variables que se encuentran ligadas con el cuadro 19; si se utiliza la columna E, se debe utilizar una dosificación de agregado de 8 a 11 kg/m² y para la columna F, una dosificación de 5 a 8 kg/m². A la hora de dosificar la emulsión para el tratamiento, se debe utilizar un parámetro similar al de dosificación del agregado, 0.7 a 1 l/m², si se utiliza la columna E y 0.5 a 0.8 l/m². Estos parámetros se muestran en la tabla 411.13 del CR-2010 (cuadro 17).

Cuadro 17: Cantidades Aproximadas de Material Para Tratamientos Superficiales Simples

Tabla 411-3
Cantidades aproximadas de material para tratamientos superficiales simples

Designación	Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Granulometría del agregado ⁽¹⁾	Cantidad estimada de agregado (kg/m ²)	Cantidad estimada de emulsión asfáltica ⁽²⁾ (L/m ²)	Cantidad estimada de cemento asfáltico ⁽³⁾ (L/m ²)
1A	19,0	B	22 - 27	1,8 - 2,5	1,2 - 1,7
1B	12,5	C	14 - 16	1,4 - 2,0	0,9 - 1,4
1C	9,5	D	11 - 14	0,9 - 1,6	0,6 - 1,1
1D	4,75	E	8 - 11	0,7 - 1,0	0,5 - 0,8
1E	Arenas	F	5 - 8	0,5 - 0,8	0,4 - 0,7

Fuente: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2010. Pág. 306.

2.1.2.7. Mantenimiento y control de calidad

2.1.2.7.1. Mantenimiento

La condición de una carretera, indiferentemente del volumen de tránsito vehicular que transita por ella, tiene que ver con tres puntos bastante importantes, los cuales son el diseño estructural de la carretera, el proceso constructivo y el mantenimiento que se le debe de dar a esta.

El mantenimiento de una carretera, aparte de ser una actividad rutinaria, debe crear la conciencia y el buen hábito de que debe ser periódico, y donde se revisen y se reparen si fuese el caso, las grietas presentes en la carretera, bacheos, riegos adicionales de emulsión y agregado. Todas estas acciones, previenen a la carretera de daños estructurales y a la vez aumenta la vida útil de esta.

El LANAMME en su informe sobre el “Sello Integrado con Emulsión Asfáltica de Rompimiento Lento”, compila ciertas recomendaciones sobre el mantenimiento al

que se debe someter las superficies asfálticas y la frecuencia en que se deben de realizar. (Véase cuadro 18)

Cuadro 18: Recomendaciones de Conservación Para Caminos con Sellos Asfálticos

Tipo de superficie asfáltica	Actividad de conservación	Aplicación
Lechada asfáltica	Refuerzo con 4 cm de Mezcla Asfáltica	Entre año 4 y 6
TSB simple sobre base granular	Nuevo tratamiento superficial simple	Entre año 4 y 6
TSB doble sobre base asfáltica	Nuevo tratamiento superficial doble	Entre año 7 y 10
Sello asfáltico con emulsión de rompimiento lento (5cm) y riego superficial con gravilla	Riego superficial de emulsión con gravilla	Entre año 1 y 2
Sello asfáltico con emulsión de rompimiento lento (5cm) y TSB simple o doble.	Tratamiento superficial simple	Entre año 4 y 5

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 38.

2.1.2.7.2. Control de Calidad

En el caso del control de calidad, la construcción de las carreteras, y sus componentes se deben de someter a controles de calidad, normados por la AASHTO y la ASTM.

2.1.2.7.3. Control de calidad del agregado para sello asfáltico

Como se menciona al inicio de este capítulo, en la sección 2.2, el material granular se debe de someter a ensayos de caracterización, tales como los Límites de Atteberg (AASHTO T89, T90), CBR (AASHTO T193), Proctor modificado (AASHTO T180) y su granulometría (AASHTO T 27 y T11).

2.1.2.7.4. Control de calidad de la emulsión asfáltica

La emulsión asfáltica a utilizar, deberá ser catiónica u aniónicas, esto dependiendo de la interacción entre el agregado a utilizar y la emulsión asfáltica. En el cuadro 3, se nombran las especificaciones técnicas a las cuales se debe someter la emulsión asfáltica, para efectos de control, la empresa que entrega la emulsión debe de dar un certificado donde se muestren los cumplimientos.

2.1.2.7.5. Control de calidad del diseño de mezcla

En el caso del control de calidad del diseño de mezcla con emulsión asfáltica de rompimiento lento, se deben de seguir los lineamientos presentes en el cuadro 19.

Cuadro 19: REQUISITOS DE CONTROL PARA EL DISEÑO DE MEZCLA PARA SELLO CON EMULSIÓN DE ROMPIMIENTO LENTO.

Material	Características	Especificación o norma aplicable	Frecuencia de ensayos
Diseño de mezcla de agregado con emulsión de rompimiento lento	<ul style="list-style-type: none"> Densidad-humedad Dosificación de emulsión asfáltica de rompimiento lento Dosificación de aditivos mejoradores de adherencia (cemento o cal) 	<ul style="list-style-type: none"> Procedimiento de Diseño de Mezcla, Guía para el Diseño de Materiales Estabilizados con Emulsión y Ensayos de Control de Calidad. (Lanamme.UCR, 2014). Manual de reciclado en Frío. (Wirtgen 2012) 	1 por fuente de agregados

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 52.

2.1.2.7.6. Control de calidad de la capa de sello asfáltico.

El control de calidad de la capa de sello asfáltica, se debe realizar mediante las recomendaciones nombradas en el cuadro 20.

Cuadro 20: Requisitos de Control Para la Capa de Sello Asfáltico Integral con Emulsión de Rompimiento Lento.

Material	Características	Especificación o norma aplicable	Frecuencia de ensayos
Tasa de riego de emulsión de rompimiento lento	<ul style="list-style-type: none"> Se deberá cumplir con la dosificación indicada por el diseño de mezcla realizado en el laboratorio y calibrado en el paño de prueba con tolerancia de ± 0.15 L/m² 	<ul style="list-style-type: none"> Medición de dosificación por medio de papel protector de manera similar a lo indicado en la sección 411.08 del CR-2010. 	1 por tanque de emulsión aportado al sitio de obras o 1 por día de trabajo
Humedad densidad (compactación)	<ul style="list-style-type: none"> Se deberá cumplir con la humedad óptima de compactación $\pm 2\%$. Se deberá cumplir con una compactación 95% de Proctor Modificado 	<ul style="list-style-type: none"> AASHTO T310 u otro procedimiento aprobado. 	1 cada 2500 m ² o 500 m lineales de calzada
Conformación de la calzada (pendiente transversal)	<ul style="list-style-type: none"> De no indicarse diferente en os documento del proyecto el bombeo será de entre 4% y 6%. 	<ul style="list-style-type: none"> Medición manual en sitio o con inclinómetro aprobado. 	Se medirá cada 20 m en secciones rectas el bombeo y en secciones curvas se medirá cada 10 m el peralte.

Fuente: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2016, pág. 53.

2.2. Marco Situacional.

Esta investigación se desarrolla, tanto en las instalaciones del Laboratorio de Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, ubicada entre la calle 5 y la 215, en San José (ilustración 1). En el laboratorio, se proporcionaron todas las herramientas, desde agregado, emulsión asfáltica y material humano, con el fin de elaborar las pruebas de laboratorio de una manera satisfactoria.

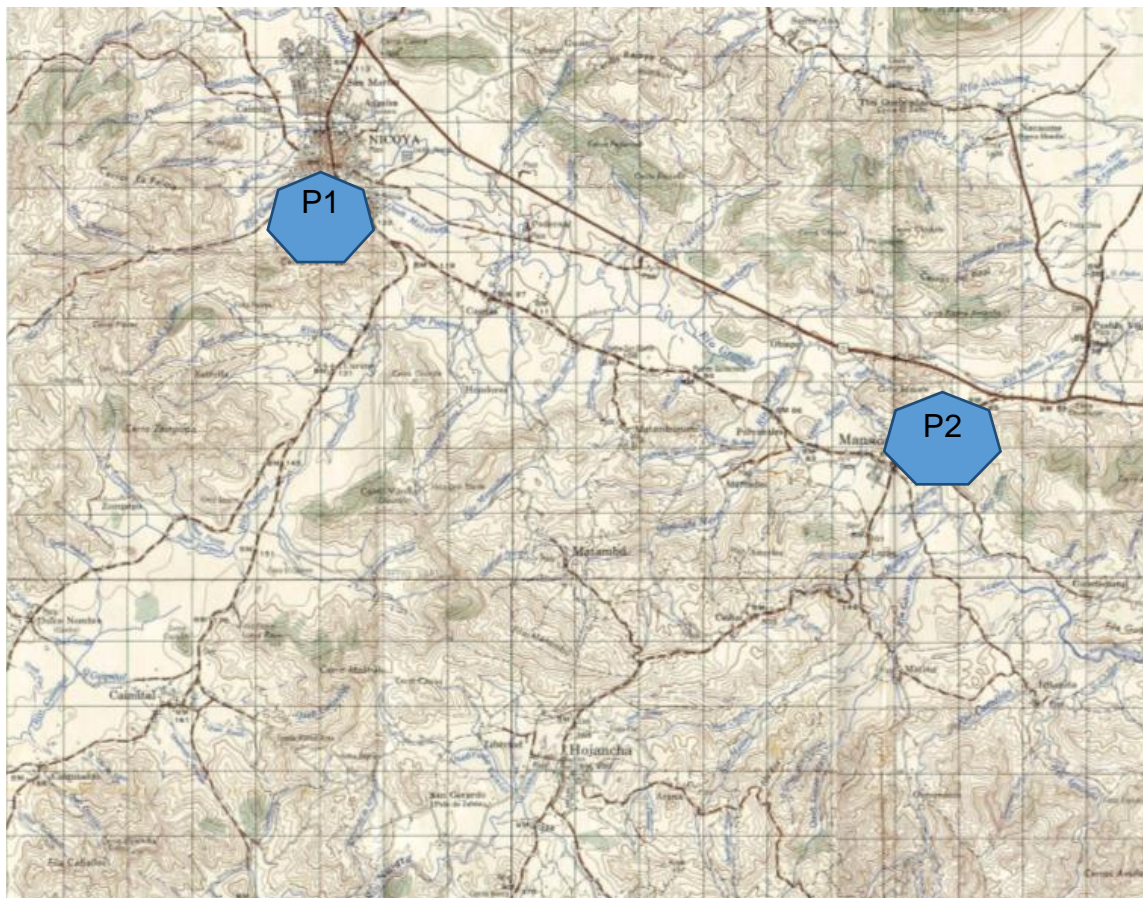
Ilustración 1: Vista Aérea de las Instalaciones del Laboratorio de Materiales Del MOPT



Fuente: Google Maps

En el caso de las rutas intervenidas en el trabajo de investigación, son las 150 y 157, ambas ubicadas en provincia de Guanacaste. La ruta nacional 157 consta del entronque de la ruta nacional 150, ubicada en Casitas de Nicoya hasta el entronque de la ruta nacional 158, en Mansión de Nicoya, esta sección corresponde a un trayecto de 8,93 km. Las coordenadas correspondientes a la ruta, serán Lambert 235025 N y 378318 E en la sección de Casitas; mientras tanto en la sección de Mansión de Nicoya, sus coordenadas serán coordenadas 231674 N y 386308 E. (Ver la ilustración 2 y anexo 22)

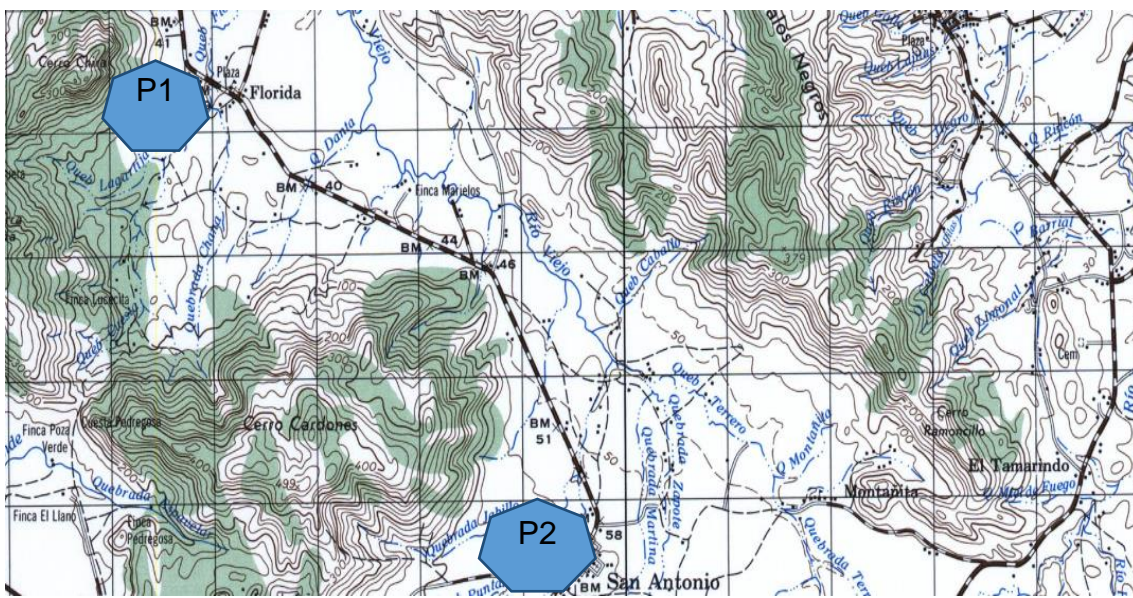
Ilustración 2: Vista Aérea de la Sección de Ruta 157, Mansión-Casitas. Nicoya, Guanacaste.



Fuente: Instituto Geográfico de Costa Rica, 1989.

La ruta 150, consta de 7,8 km de carretera, se extiende desde San Antonio de Nicoya, hasta la localidad llamada Florida de Nicoya, 376 en su cuadrante N y 246 E en la sección de Florida Nicoya (P1) mientras que, en el punto de San Antonio de Nicoya, es 380 N y 241 al Este (P2). (Ver ilustración 3 y anexo 23)

Ilustración 3: Vista Aérea de la Sección de Ruta 150, San Antonio-Florida, Ubicada en Nicoya, Guanacaste.



Fuente: Instituto Geográfico de Costa Rica, 1989.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque Metodológico

El presente trabajo de investigación “Análisis de la emulsión asfáltica de rompimiento lento CSS-1H como mitigador de polvo en caminos de lastre”, responde a un estudio evaluativo, ya que su objetivo es evaluar los resultados de un proceso que ha sido o está siendo aplicado dentro de un escenario determinado. Este tipo de investigación intenta obtener resultados más específicos y se orienta hacia la solución de un problema en concreto, dentro de un contexto determinado.

3.2. Categorías de Análisis de la Investigación.

De acuerdo con la naturaleza de los datos, la investigación es cualitativa, en razón de que busca analizar el problema, mediante la comprensión y evaluación de teoría, procesos y resultados que se obtienen de la aplicación de la emulsión asfáltica de rompimiento lento CSS-1H. La investigación cualitativa ofrece al investigador métodos y herramientas viables y confiables para hacer de una investigación una fuente de información para la toma de decisiones.

Dentro de la investigación cualitativa existe una particular y detallada literatura de los variados métodos y aproximaciones que caen bajo la categoría de investigación cualitativa, tales como el estudio de casos, política y ética, investigación participante, entrevista, observación participante, métodos visuales y análisis interpretativo. (Denzin & Lincoln, 2005).

3.3. Técnicas e Instrumentos para Recolección de Datos.

La recolección de información para este trabajo de investigación, se obtuvo de dos formas específicas:

3.3.1. Recolección de información.

La información necesaria para llevar a cabo esta investigación, se obtuvo mediante visitas al lugar a tratar (Ruta 150, Ruta 157), así como por entrevistas y soporte técnico de funcionarios concedores sobre los temas de materiales, carreteras y asfaltos.

También se consultaron libros, manuales, revistas, informes, guías y demás bibliografía, sobre emulsiones asfálticas y tratamientos que se les dan a los caminos de lastre.

3.3.2. Visitas al sitio.

Se realizaron visitas al Cantón de Nicoya, Guanacaste, específicamente en la Ruta Nacional 157 y la Ruta Nacional 158, la cual está en la sección que abarca de San Antonio de Nicoya hasta la Florida de Nicoya.

En estas visitas se tomaron videos, fotografías y muestras de la carretera, esto con el fin de contar con evidencia, que brinde certeza de los resultados presentados en esta investigación. Cabe destacar que funcionarios del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Consejo Nacional Vial, así como residentes de la zona, fueron de mucha ayuda para recopilar la evidencia.

3.4. Técnicas e Instrumentos para el Análisis de Datos

Cuando se obtiene y recopila toda la información., se pasa a analizarla y luego , se selecciona para que sea parte de esta investigación.

Los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio, fueron clasificados, evaluados, tabulados y graficados utilizando las ecuaciones y lineamientos presentes en la bibliografía consultada. Además de esto, fue revisada por profesionales en el campo de las carreteras y asfaltos.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, se muestran y analizan los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, los cuales fueron realizados en el Laboratorio de Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Aparte de las pruebas de laboratorio, también se muestran los diseños de mezcla más adecuados para las rutas mencionadas en esta investigación.

4.1. Análisis De Resultados: Pruebas De Laboratorio.

En este primer apartado, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio detalladas en la sección 2.1.2.3.

4.1.1. Contenido total de fluidos y emulsión

Para este punto, se deben de seguir los puntos contemplados en la sección 2.1.2.3.1, con el fin de encontrar la cantidad de emulsión necesaria, así como la cantidad de agua idónea para la mezcla asfáltica y la construcción de las pastillas Marshall.

4.1.1.1. Contenido total de fluidos y emulsión en la mezcla TK 157

Se utiliza primeramente la ecuación 1.1, donde se encuentra la cantidad de emulsión que llevará la mezcla asfáltica, utilizando la cantidad de material granular escogida (en el caso de estas pruebas, se utiliza 1150 g), el porcentaje de asfalto con el cual se realizan las pruebas y el porcentaje de residuos (ver sección 4.1.2.1); con estos datos listos, se procede a resolver la ecuación 1.1:

Ejemplo 1:

$$E_{nec} = \frac{1150 \text{ g} * 2 \%}{65.67\%} = 35 \text{ g}$$

Mientras que, con la cantidad de agua necesaria para la mezcla asfáltica se aplica la fórmula 1, como se muestra a continuación, en el ejemplo 2:

Ejemplo 2:

$$W_{nec} = \left(\frac{7.1}{100} * 1150g \right) - 35g = 46.65 g$$

Dados estos ejemplos, se adjuntan los cuadros resumen con las dosificaciones adecuadas para las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de asfalto.

Cuadro 21: Dosificación Para Pastillas TK 157 al 2%

EMULSIÓN PARA ENSAYO		%residuo	65,67%
Cantidad de material	1150	g	
Cantidad de emulsión	35,0	g	

% Asfalto =	2%	
W ofc =	7,1	%
W air dry =	0,0	%
M emul =	35,0	g
M muestra =	1150	g
M agua =	46,6	g

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre contenido total de fluidos y cantidad de emulsión.

Cuadro 22: Dosificación Para Pastillas TK 157 al 2.5%

EMULSIÓN PARA ENSAYO		%residuo	65,67%
Cantidad de material	1150	g	
Cantidad de emulsión	43,8	g	

% Asfalto =	2,5%	
W ofc =	7,1	%
W air dry =	0,0	%
M emul =	43,8	g
M muestra =	1150	g
M agua =	37,9	g

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre contenido total de fluidos y cantidad de emulsión.

Cuadro 23: Dosificación Para Pastillas TK 157 al 3%

EMULSIÓN PARA ENSAYO		%residuo	65,67%
Cantidad de material	1150	g	
Cantidad de emulsión	52,5	g	

% Asfalto =	3,0%	
W ofc =	7,1	%
W air dry =	0,0	%
M emul =	52,5	g
M muestra =	1150	g
M agua =	29,1	g

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre contenido total de fluidos y cantidad de emulsión.

4.1.1.2. *Contenido total de fluidos y emulsión en la mezcla TK 155*

En esta sección, se aplican los mismos conceptos que se muestran en el punto anterior. Se aplica de nuevo la fórmula 1.1 para encontrar la cantidad óptima de asfalto.

$$E_{nec} = \frac{1150 \text{ g} * 2 \%}{60.67\%} = 37.9 \text{ g}$$

Luego, se averigua la cantidad necesaria de agua para la mezcla asfáltica.

$$W_{nec} = \left(\frac{7.1}{100} * 1150 \text{ g} \right) - 37.9 \text{ g} = 43.7 \text{ g}$$

Cuadro 24: DOSIFICACIÓN PARA PASTILLAS TK 155 AL 2%

EMULSIÓN PARA ENSAYO		%residuo	60,7%
Cantidad de material	1150	g	
Cantidad de emulsión	37,9	g	

% Asfalto =	2%	
W ofc =	7,1	%
W air dry =	0,0	%
M emul =	37,9	g
M muestra =	1150	g
M agua =	43,7	g

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre contenido total de fluidos y cantidad de emulsión.

Cuadro 25: Dosificación Para Pastillas TK 155 al 2.5%

EMULSIÓN PARA ENSAYO		%residuo	60,7%
Cantidad de material	1150	g	
Cantidad de emulsión	47,4	g	

% Asfalto =	2,5%	
W ofc =	7,1	%
W air dry =	0,0	%
M emul =	47,4	g
M muestra =	1150	g
M agua =	34,3	g

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre contenido total de fluidos y cantidad de emulsión.

Cuadro 26: Dosificación Para Pastillas TK 155 al 3%

EMULSIÓN PARA ENSAYO		%residuo	60,7%
Cantidad de material	1150	g	
Cantidad de emulsión	56,9	g	

% Asfalto =	3,0%	
W ofc =	7,1	%
W air dry =	0,0	%
M emul =	56,9	g
M muestra =	1150	g
M agua =	24,8	g

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre contenido total de fluidos y cantidad de emulsión.

4.1.2. Porcentaje de residuos.

Como se detalla en la sección 2.1.2.3.2, se realiza la prueba con el fin de obtener el porcentaje de residuos que se presentan en las emulsiones asfálticas utilizadas.

4.1.2.1. Porcentaje de residuos en mezcla CSS-1h TK157.

Siguiendo los pasos mencionados, primero se obtienen los pesos sin ingresar al horno (,) a una temperatura de 160°C.

Cuadro 27: Pesos de los Beaker

Peso Beaker		
Beaker	Peso	Unidades
1	292	gramos
2	297	gramos
3	286,5	gramos

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre porcentaje de residuos en mezcla CSS-1h TK157.

Se tabulan unos nuevos datos, los cuales son los nuevos pesos, estos corresponden a los de la mezcla en frío.

Cuadro 28: Pesos Beaker más Emulsión Asfáltica TK 157.

Pesos Beaker + Emulsion		
Beaker	Peso	Unidades
1	325	gramos
2	330	gramos
3	319	gramos

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre porcentaje de residuos en mezcla CSS-1h TK157.

Seguidamente, se aplica la fórmula 2, para encontrar los porcentajes de cada beaker y sacar el promedio de porcentaje de residuo.

Ejemplo 3:

$$\%residuos: (325 - 292) * 2: 66\%$$

Se realiza para cada uno de los tres beaker utilizados y se tabulan, para obtener el porcentaje de residuos para este tipo de emulsión asfáltica, el cual da un total de 65,67%.

Cuadro 29: Porcentaje de Residuos Para Mezcla CSS-1h TK 157

Porcentaje de Residuos		
Beaker	Residuo	%
1	66	%
2	66	%
3	65	%
Resultado	65,67	%

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre porcentaje de residuos para mezcla CSS-1h TK 157.

4.1.2.2. Porcentaje de residuos para mezcla CSS-1h TK 155.

Se realizan los mismos pasos que para la mezcla CSS-1h TK 157.

Cuadro 30: Pesos de los Beaker

Peso Beaker		
Beaker	Peso	Unidades
1	212	gramos
2	206,5	gramos
3	227	gramos

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre porcentaje de residuos en mezcla CSS-1h TK 155.

Cuadro 31: Pesos Beaker más Emulsión Asfáltica TK 155

Peso Beaker + Emulsion		
Beaker	Peso	Unidades
1	243	gramos
2	236,5	gramos
3	257	gramos

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre porcentaje de residuos en mezcla CSS-1h TK 155.

Teniendo los datos tabulados, se realiza el mismo ejercicio del ejemplo 3:

$$\%residuos: (243 - 212) * 2: 62\%$$

Cuadro 32: Porcentaje de Residuos Para Mezcla CSS-1h TK 155.

Porcentaje de Residuos		
Beaker	Residuo	%
1	62	%
2	60	%
3	60	%
Resultado	60,67	%

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre porcentaje de residuos en mezcla CSS-1h TK 155.

En este caso, se realizan las pruebas nuevamente, con el fin de aumentar un poco el porcentaje de residuos y que el resultado no esté tan cerca del límite permitido de 60%. A continuación, se presentan los nuevos resultados para la prueba de porcentaje de residuos.

Cuadro 33: Pesos Beaker

Peso Beaker		
Beaker	Peso	Unidades
1	205,5	gramos
2	214	gramos
3	225	gramos

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre porcentaje de residuos en mezcla CSS-1h TK 155.

Cuadro 34: Pesos de los Beaker más Emulsión Asfáltica TK 155

Peso Beaker + Emulsion		
Beaker	Peso	Unidades
1	237	gramos
2	245	gramos
3	256	gramos

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre porcentaje de residuos en mezcla CSS-1h TK 155.

Cuadro 35: Porcentaje de Residuos Para Mezcla CSS-1h TK 155

Porcentaje de Residuos		
Beaker	Residuo	%
1	63	%
2	62	%
3	62	%
Resultado	62,33	%

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre porcentaje de residuos en mezcla CSS-1h TK 155.

Los resultados para esta prueba de laboratorio, fueron muy satisfactorios, ya que los resultados obtenidos estuvieron en los rangos aceptados de 60% a un 66% de residuos.

Para la mezcla asfáltica CSS-1h TK 157, el resultado fue de un 65.67% de residuos, mientras que en la mezcla CSS-1h TK 155, el resultado obtenido fue de un 62.33%.

4.1.3. Pruebas de peso unitario

Para las pruebas de peso unitario, se realiza la misma metodología, la cual sería la de analizar las dos emulsiones asfálticas por separado.

4.1.3.1. Prueba de peso unitario emulsión CSS-1h TK 157.

Se siguen los pasos dados en la sección 2.1.2.3.3.

Cuadro 36: Pesos del Picnómetro Sin Emulsión y Con Emulsión TK 157.

Picnómetro	Promedio	Unidades
Sin Emul	138,75	gramos
Con Emul	224	gramos

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre prueba de peso unitario

Con los datos tabulados, se procede a calcular los promedios, de los picnómetros sin emulsión y con emulsión.

Cuadro 37: Promedio del Peso de los Picnómetros Sin/Con Emulsión TK 157.

	Primer Ejercicio		Segundo Ejercicio		Tercer Ejercicio	
Peso sin emu	138,7	gramos	138,754	gramos	138,8348	gramos
Peso con emu	224	gramos	224	gramos	224	gramos

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre prueba de peso unitario.

Con los promedios calculados, se procede a utilizar la fórmula 3, también presente en la sección 2.1.2.3.3.

Peso Unitario: $(224 - 138.83) * 0.4542 = 38.72 \text{ gramos.}$

4.1.3.2. Prueba de peso unitario emulsión CSS-1h TK 155.

Se realiza el mismo procedimiento que se utilizó en el pinto anterior.

Cuadro 38: Pesos del Picnómetro Sin/Con Emulsión TK 155

	Primer Ejercicio		Segundo Ejercicio		Tercer Ejercicio	
Peso sin emu	138,7045	gramos	138,7207	gramos	138,8378	gramos
Peso con emu	224	gramos	224	gramos	224	gramos

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre prueba de peso unitario.

Cuadro 39: Promedio del Peso de los Picnómetros Sin/Con Emulsión TK 155.

Picnómetro	Promedio	Unidades
Sin Emul	138,83	gramos
Con Emul	224	gramos

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio sobre prueba de peso unitario.

Peso Unitario: $(224 - 138.83) * 0.4542 = 38.72 \text{ gramos}$.

Los resultados arrojados tanto en la emulsión TK 157 como en la TK 155, muestra que el peso unitario de ambas emulsiones, sería la misma de 38.72 gramos.

4.1.4. Pruebas de resistencia a tensión indirecta y retenida.

Después de realizadas las pruebas de densidad absoluta, las pastillas se dividen en dos grupos, según se menciona en la sección 2.1.3.10, donde la mitad de estas deben ser acondicionadas y la otra mitad sin acondicionar. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

4.1.4.1. Prueba resistencia a la tensión indirecta y retenida para emulsión CSS1-h TK 157.

Se tabulan los datos obtenidos en las pruebas para los tres tipos de porcentajes con los que se realizan las mezclas asfálticas. Para calcular el ITS, se utiliza la fórmula 4 (ver ejemplo 4):

Ejemplo 4:

$$ITS: \frac{2000 * 35.2}{\pi * 10.207 * 6.343} = 346.291 \text{ KPa}$$

Cuadro 40: Cálculo de ITS Para Pastillas 2% de Emulsión TK 157

Pastillas Marshall 2% con Emulsión CSS-1h TK157							
Número de Pastilla	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura(cm)	Resultado Falla (KN)	Promedio Diametro	Promedio Altura	ITS (KPa)
1	1160,4	10,2	6,32	3,52	10,207	6,343	346,291
		10,22	6,37				
		10,2	6,34				
2	1154	10,12	6,45	3,39	10,137	6,470	329,231
		10,15	6,5				
		10,14	6,46				
3	1147,8	10,24	6,39	3,64	10,180	6,373	357,345
		10,18	6,35				
		10,12	6,38				
4	1149,1	10,12	6,45	4,39	10,160	6,453	426,469
		10,19	6,48				
		10,17	6,43				
5	1162,4	10,14	6,58	0	10,153	6,583	0,000
		10,15	6,59				
		10,17	6,58				
6	1154,4	10,15	6,47	0	10,177	6,437	0,000
		10,17	6,46				
		10,21	6,38				
7	1142,2	10,1	6,47	0	10,130	6,450	0,000
		10,15	6,45				
		10,14	6,43				
8	1150,4	10,21	6,36	0	10,220	6,360	0,000
		10,23	6,39				
		10,22	6,33				

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

Cuadro 41: Cálculo de ITS Para Pastillas 2.5% de Emulsión TK 157

Pastillas Marshall 2,5% con Emulsión CSS-1h TK157							
Número de Pastilla	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura(cm)	Resultado Falla (KN)	Promedio Diametro	Promedio Altura	ITS
1	1169,3	10,22	6,57	4,54	10,173	6,577	432,202
		10,12	6,52				
		10,18	6,64				
2	1151,1	10,28	6,66	4,65	10,163	6,523	446,733
		10,37	6,46				
		9,84	6,45				
3	1165,3	10,25	6,51	4,32	10,227	6,507	413,515
		10,21	6,51				
		10,22	6,5				
4	1156,4	10,12	6,41	3,98	10,023	6,400	395,177
		9,97	6,41				
		9,98	6,38				
5	1146,7	10,22	6,57	0	10,173	6,577	0,000
		10,12	6,52				
		10,18	6,64				
6	1159,2	10,28	6,66	0	10,163	6,523	0,000
		10,37	6,46				
		9,84	6,45				
7	1154,2	10,25	6,51	0,64	10,227	6,507	61,262
		10,21	6,51				
		10,22	6,5				
8	1156,1	10,12	6,41	0	10,023	6,400	0,000
		9,97	6,41				
		9,98	6,38				

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

Cuadro 42: Cálculo de ITS Para Pastillas 3% de Emulsión TK 157

Pastillas Marshall 3% con Emulsión CSS-1h TK157							
Número de Pastilla	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura(cm)	Resultado Falla (KN)	Promedio Diametro	Promedio Altura	ITS
1	1167,2	10,14	6,54	3,71	10,123	6,417	363,782
		10,09	6,07				
		10,14	6,64				
2	1162,7	10,16	6,6	4,58	10,173	6,617	433,374
		10,17	6,64				
		10,19	6,61				
3	1163,1	10,05	6,66	4,88	10,107	6,677	460,630
		10,12	6,69				
		10,15	6,68				
4	1157,8	10,19	6,52	4,33	10,173	6,533	414,945
		10,14	6,56				
		10,19	6,52				
5	1164,1	10,21	6,64	0	10,213	6,667	0,000
		10,22	6,66				
		10,21	6,7				
6	1159,2	10,14	6,75	0	10,137	6,757	0,000
		10,13	6,81				
		10,14	6,71				
7	1163,4	10,16	6,65	0	10,203	6,660	0,000
		10,28	6,67				
		10,17	6,66				
8	1162,9	10,17	6,62	0	10,157	6,650	0,000
		10,14	6,66				
		10,16	6,67				

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

Con los datos de las tablas listas, se conforma la tabla resumen con la que se pueden calcular los promedios de tensión indirecta y así poder graficarlos

Cuadro 43: Cuadro Resumen ITS Acondicionado y Sin Acondicionar TK 157

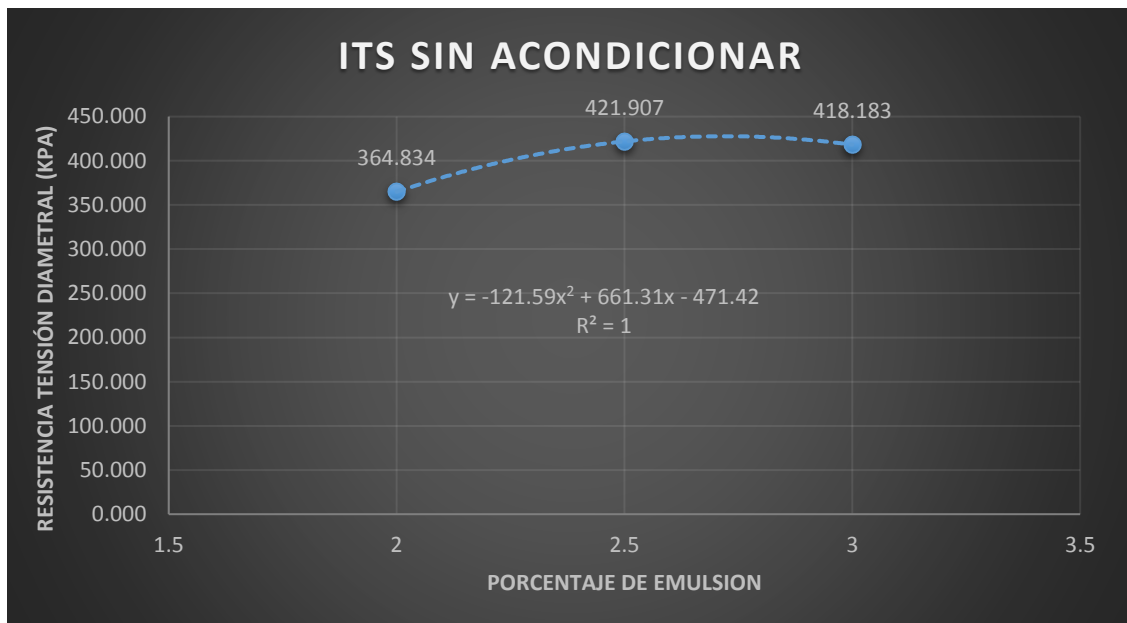
% Emulsión	Promedio ITS	Promedio Its (satu)
2	364,834	0
2,5	421,907	15,315
3	418,183	0

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

Las pastillas sin acondicionar muestran una resistencia importante, pues son las que contienen un 2.5% de emulsión por lo que son las idóneas; ya que tienen una resistencia de 421.907 KPa a la tensión indirecta. Mientras que las pastillas con un 2% y 3%, resisten un poco menos, en comparación con las que contienen 2.5% de emulsión. (gráfico 6).

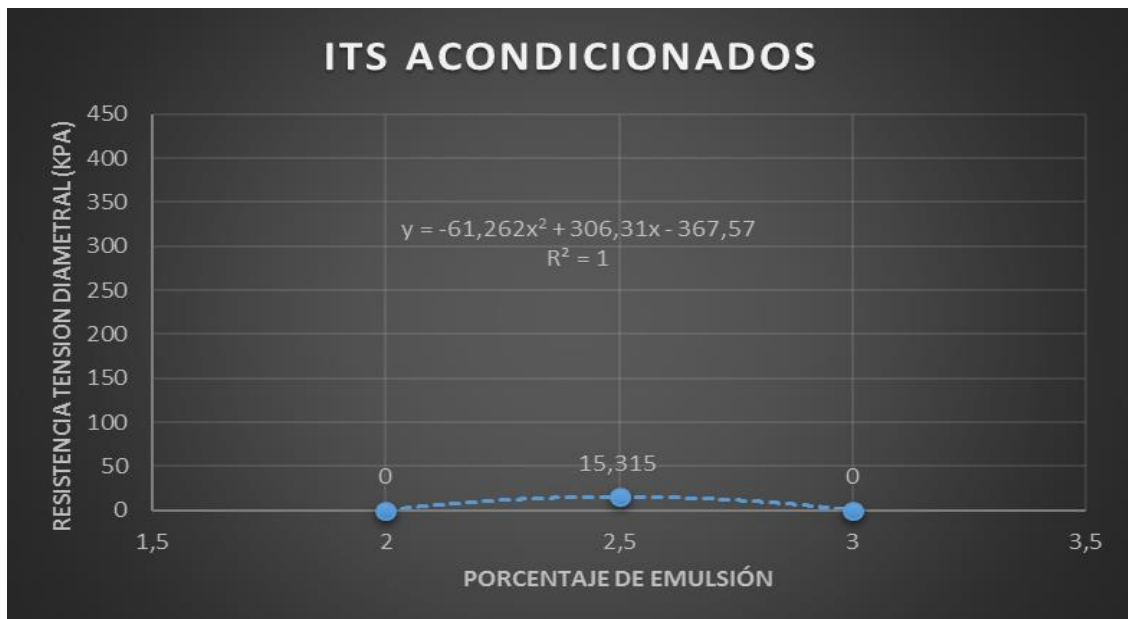
En el caso de las pastillas acondicionadas, se repite una condición de que la resistencia será nula, ya que la acción del agua en la mezcla asfáltica, influye casi al 100 % en su rendimiento. Este comportamiento se puede observar en el grafico 7, donde la curva tiende a ir en la línea de cero, salvo en las pastillas con un 2.5% de emulsión, donde la resistencia se incrementa en un 15.139 KPa, y es igualmente una resistencia muy baja.

Gráfico 6: Gráfico de ITS Sin Acondicionar TK 157



Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

Gráfico 7: Gráfico de ITS Acondionadas TK 157



Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

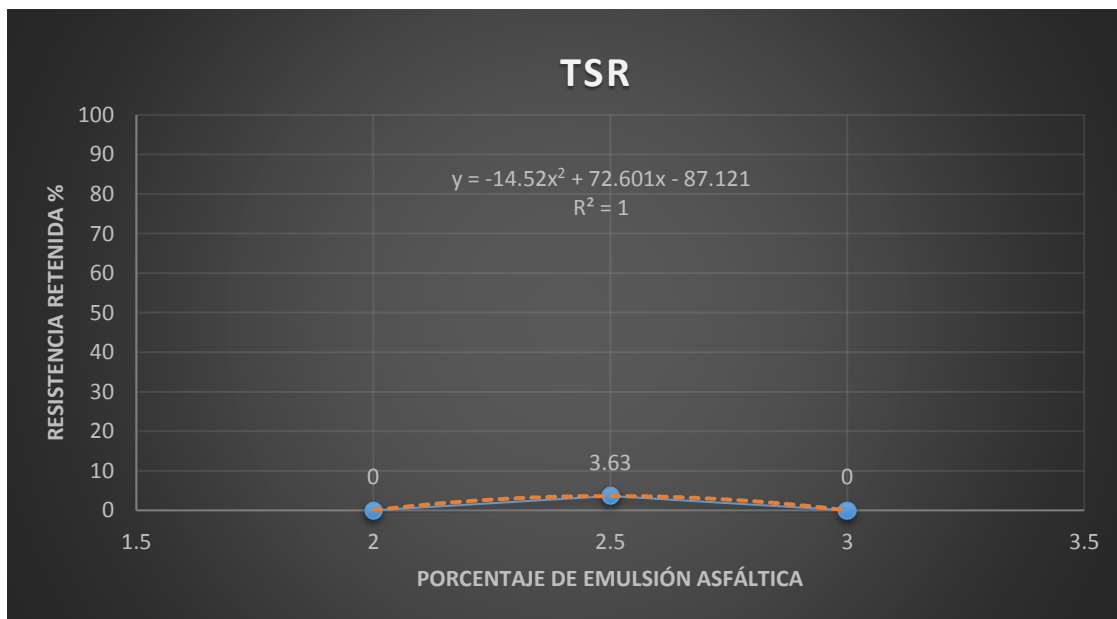
En el caso de las pruebas de tensión retenida, se aplica la fórmula 5, presente en la sección 2.1.3.11, como se muestra en el ejemplo 5:

Ejemplo 5:

$$TSR: \frac{15.315}{421.907} * 100 = 3.63\%$$

Al tomar como referencia el ejemplo 5 que toma los datos de las pastillas que contienen un 2.5% de emulsión asfáltica, se observa que, al aplicar la fórmula, nos muestra de nuevo la incidencia y cómo repercute el agua en el tratamiento de rompimiento lento, al obtener un muy bajo porcentaje de resistencia retenida. En el gráfico 8, se muestra este comportamiento.

Gráfico 8: Gráfico de TSR TK 157



Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

4.1.4.2. Prueba resistencia a la tensión indirecta y retenida para emulsión CSS1-h TK 155.

En el caso de la emulsión CSS1-h TK 155, el procedimiento es exactamente igual que con el que fue tratado la emulsión TK 157, se aplican las mismas fórmulas y conceptos.

Se aplica la fórmula 4, de la siguiente manera:

$$ITS: \frac{2000 * 38}{\pi * 10.167 * 6.417} = 371.019 \text{ KPa}$$

Aplicada esta fórmula para las 24 pastillas Marshall, 12 para las pastillas no saturadas y las restantes para las pastillas acondicionadas, se tabulan los datos como se realiza anteriormente.

Cuadro 44: Cálculo de ITS Para Pastillas 2% de Emulsión TK 157

Número de Pastilla	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura(cm)	Resultado Falla (KN)	Promedio Diametro	Promedio Altura	ITS
1	1148,5	10,16	6,4	3,8	10,167	6,417	371,019
		10,18	6,41				
		10,16	6,44				
2	1158,2	10,14	6,52	3,41	10,153	6,480	330,119
		10,16	6,47				
		10,16	6,45				
3	1154,1	10,25	6,46	3,43	10,227	6,480	329,675
		10,21	6,46				
		10,22	6,52				
4	1162	10,16	6,46	3,89	10,160	6,480	376,341
		10,16	6,46				
		10,16	6,52				
5	1157,6	10,16	6,47	0	10,170	6,507	0,000
		10,17	6,5				
		10,18	6,55				
6	1159,2	10,21	6,49	0	10,170	6,467	0,000
		10,14	6,45				
		10,16	6,46				
7	1154,2	10,13	6,54	0	10,180	6,617	0,000
		10,18	6,75				
		10,23	6,56				
8	1156,1	10,15	6,47	0	10,147	6,460	0,000
		10,14	6,46				
		10,15	6,45				

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

Cuadro 45: Cálculo de ITS Para PASTILLAS 2.5% de Emulsión TK 155

Pastillas Marshall 2,5% con Emulsión CSS1-h TK155							
Número de Pastilla	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura(cm)	Resultado Falla (KN)	Promedio Diametro	Promedio Altura	ITS
1	1165,2	10,14	6,61	3,34	10,143	6,643	315,704
		10,12	6,66				
		10,17	6,66				
2	1164,1	10,18	6,48	4,31	10,173	6,517	414,084
		10,14	6,55				
		10,2	6,52				
3	1161,6	10,21	6,44	4,38	10,170	6,443	425,738
		10,16	6,43				
		10,14	6,46				
4	1166	10,15	6,53	3,62	10,143	6,550	347,046
		10,14	6,53				
		10,14	6,59				
5	1170,1	10,17	6,54	0	10,143	6,543	0,000
		10,14	6,51				
		10,12	6,58				
6	1162,6	10,18	6,53	0	10,167	6,563	0,000
		10,16	6,53				
		10,16	6,63				
7	1163,1	10,26	6,41	0	10,217	6,400	0,000
		10,17	6,39				
		10,22	6,4				
8	1158,9	10,15	6,41	0	10,157	6,417	0,000
		10,16	6,42				
		10,16	6,42				

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

Cuadro 46: Cálculo de ITS Para Pastilla 3% de Emulsión TK 155

Pastillas Marshall 3% con Emulsión CSS1-h TK155							
Número de Pastilla	Peso (g)	Diámetro (cm)	Altura(cm)	Resultado Falla (KN)	Promedio Diametro	Promedio Altura	ITS
1	1168	9,68	6,66	3,84	9,877	6,690	370,165
		9,97	6,71				
		9,98	6,7				
2	1171,8	10,04	6,71	3,59	10,097	6,703	337,852
		10,14	6,74				
		10,11	6,66				
3	1172,8	10,02	6,73	3,47	9,930	6,690	332,701
		10	6,63				
		9,77	6,71				
4	1172,9	10,15	6,69	4,22	10,180	6,730	392,329
		10,26	6,7				
		10,13	6,8				
5	1178,2	10,2	6,74	0	10,087	6,713	0,000
		10,01	6,74				
		10,05	6,66				
6	1166,3	10,08	6,6	0	10,047	6,580	0,000
		9,99	6,51				
		10,07	6,63				
7	1161,5	10,13	6,66	0	10,170	6,570	0,000
		10,16	6,55				
		10,22	6,5				
8	1159,7	9,99	6,66	0	9,867	6,687	0,000
		9,99	6,7				
		9,62	6,7				

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

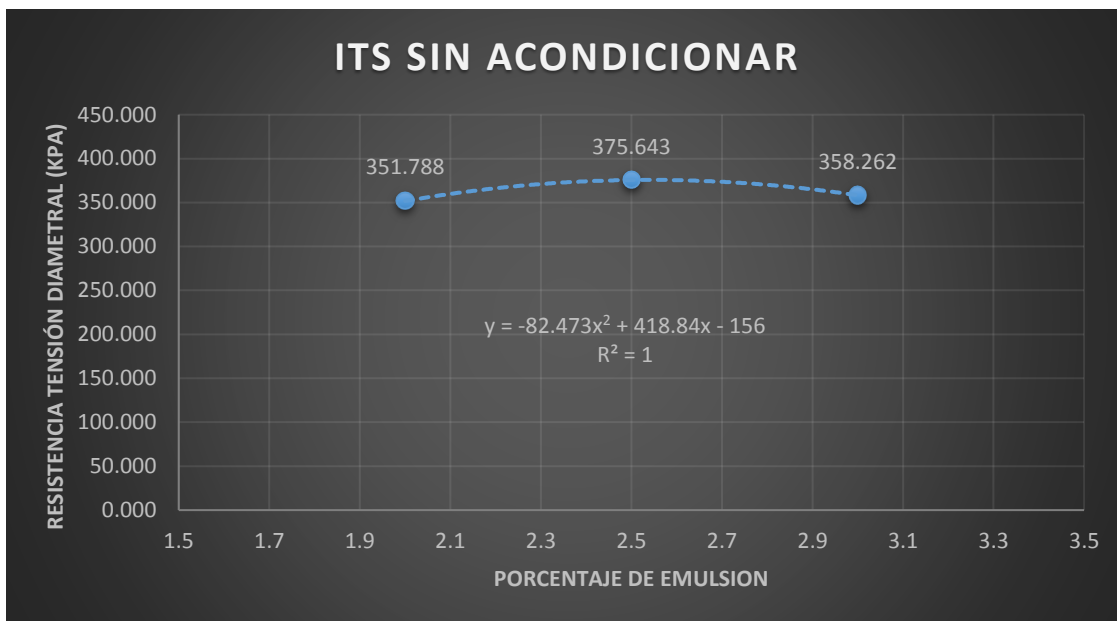
Seguidamente, se adjunta la tabla resumen con los datos ITS promediados, tanto de las pastillas sin acondicionar cómo las acondicionadas.

Cuadro 47: Cuadro Resumen ITS Acondicionado y Sin Acondicionar TK 155

% Emulsión	Promedio ITS	Promedio Its (satu)
2%	351,788	0
2.5%	375,643	0
3%	358,262	0

Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

Gráfico 9: Gráfico de ITS Sin Acondicionar TK 155



Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

Gráfico 10: Gráfico de ITS Acondionadas TK 155

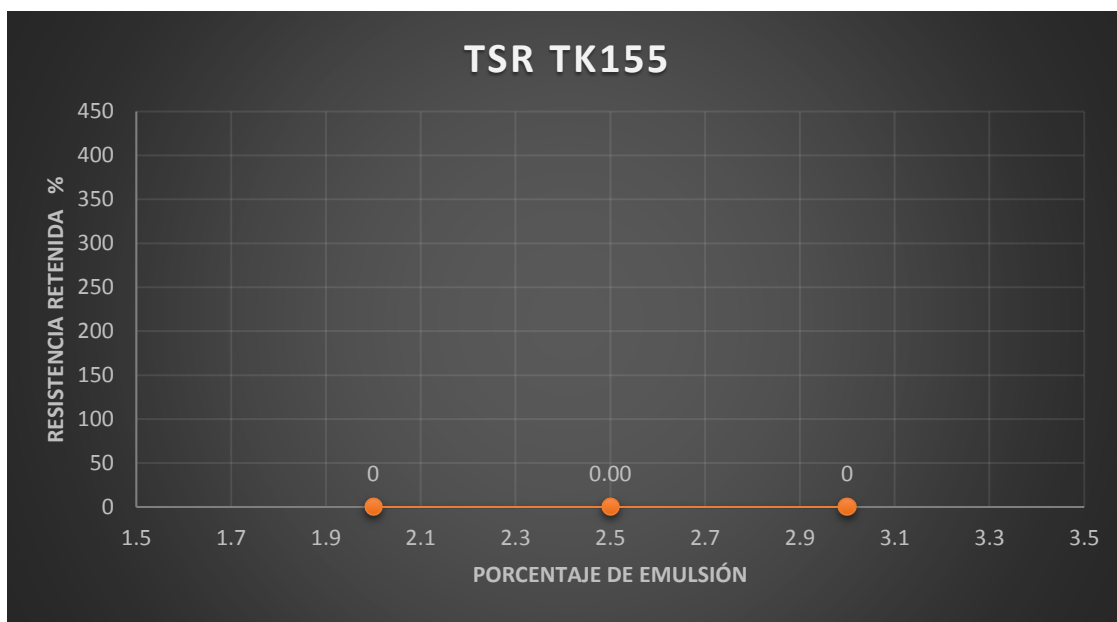


Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

En el caso de la emulsión CSS-1h TK 155(,) el comportamiento a resistencia indirecta de las pastillas sin acondicionar, muestra un buen desempeño, revelando evidenciando reflejando una resistencia bastante aceptable. Mientras que, en las pastillas saturadas, el comportamiento fue el esperado, la resistencia a tensión diametral fue siempre cero, como se puede ver en el gráfico 11.

Con respecto a la tensión retenida, el resultado siempre fue cero, esto debido a que la tensión indirecta saturada siempre fue nula y a la hora de aplicar la fórmula, el resultado a obtener siempre fue el esperado.

Gráfico 11: Gráfico de TSR TK 155



Fuente: Elaboración propia con datos de la prueba de laboratorio de tensión indirecta y retenida.

Analizando los datos de las pruebas a tensión realizadas, se puede estimar que las pastillas no saturadas (en las dos emulsiones) muestran un excelente rendimiento, es decir que, las pastillas con un 2.5% son las óptimas, ya que en ellas se muestran los picos más altos. En el caso de las pastillas acondicionadas, se reitera la conclusión de que la presencia de agua en la mezcla influye casi al 100% en la resistencia que la misma pueda tener, la cual es casi nula o nula en su totalidad.

4.2. Análisis De Resultados: Diseño Estructural

El diseño estructural propuesto para las rutas 150 y 157 ubicadas en Nicoya, se realiza utilizando los conceptos anteriormente mencionados en la sección 2.1.2.4. Para realizar todos los diseños; se cuenta con los datos suficientes para proceder con las propuestas de diseño estructural de pavimentos.

A continuación, se detallan los diseños de las rutas a tratar.

4.2.1. Diseño estructural de pavimento en la ruta 150.

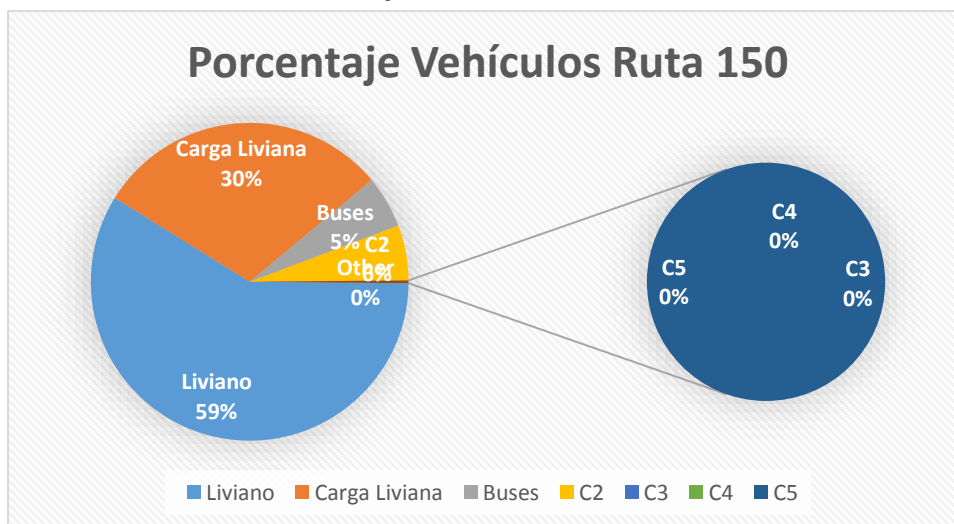
Antes de iniciar con el diseño estructural del pavimento para las rutas, se deben calcular inicialmente los ejes equivalentes (ESALs) y así continuar con los pasos de diseño.

Gráfico 12: Cálculo de ESALs Para la Ruta 150

Cálculo de ESALs para la ruta 150								
Vehículo	TPD	% Y	Factor Camión	Factor Gy	D	L	365	Total
Liviano	528	59%	0,005	5,42	0,5	1	365	1542
Carga Liviana	528	30%	0,02	5,42	0,5	1	365	3137
Buses	528	5%	2,29	5,42	0,5	1	365	59855
C2	528	2%	0,07	5,42	0,5	1	365	732
C3	528	0%	1,28	5,42	0,5	1	365	0
C4	528	0%	0	5,42	0,5	1	365	0
C5	528	0%	2,38	5,42	0,5	1	365	0
								65266

Fuente: Elaboración propia con datos para el cálculo de ejes equivalentes en la ruta 150.

Gráfico 13: Porcentaje de Vehículos Pasando Por la Ruta 150



Fuente: Elaboración propia con datos para el cálculo de ejes equivalentes en la ruta 150

En el cálculo de los ejes equivalentes para la ruta 150, se obtienen 65266 ESALs.

Paso 1: Tránsito Vehicular

Utilizando el cuadro 8 y teniendo la cantidad de ejes equivalentes, se designa la categoría de tránsito vehicular en la que se encuentra esta ruta.

La ruta 150 se encuentra en la zona T3, en la cual, los ejes equivalentes se encuentran en el rango.

Designación	Tránsito Promedio Diario (TPD)	Vehículos pesados por día (VPD)	ESALs (5 años)
T1	≤15	≤3	≤ 3 000
T2	16-50	3-10	3 001-10 000
T3	51-150	21-30	10 001-30 000
T4	151-500	31-100	31 000-100 000

Paso 2: Suelo de Subrasante

Para designar el suelo de soporte, se utilizan los datos adjuntos en el anexo número 3, en el cual se señala que el material granular utilizado tiene un porcentaje de CBR de 5 % y si se observa el cuadro 9, se designa en la categoría en la que se encuentra.

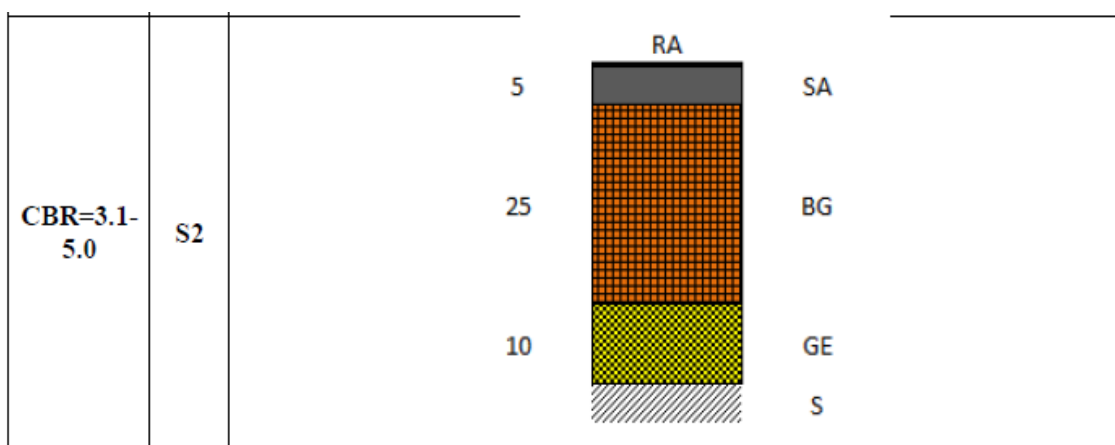
Designación	CBR (%)	Mr (psi)	Mr (MPa)
S1	≤3.0	≤4 500	≤31.0
S2	3.1-5.0	4 501-7 500	31.1-51.7
S3	5.1-10.0	7 501-13 400	51.8-92.4
Referencias para el cálculo de MR a partir de CBR			
Referencia	Rango CBR	Ecuación	
Heukelom & Klomp (1962)	<7.2	$Mr(\text{psi}) = 1500 * CBR$	
CSIR (Witczak et al. 1995)	7.2-20	$Mr(\text{psi}) = 3000 * CBR^{0.65}$	
AASHTO 93	>20	$MR(\text{psi}) = 4326 * \ln(CBR) + 241$	

La ruta se encuentra en la zona S2, la cual, además, tiene una capacidad de soporte de 51.7 MPa aproximadamente.

Paso 3: Designación de Diseño Pavimento para T4

Se procede a designar la estructura idónea de pavimento, utilizando la tabla 13 sobre el diseño de pavimento para T3. Conociendo que la ruta tiene un S2 y sus ejes equivalentes son de 65266, la estructura adecuada es la siguiente:

Donde el sello asfáltico tendrá 5 cm, la capa de rodamiento unos 25 cm mientras que el material granular existente en la ruta, será de 10 cm.



4.2.2. Diseño estructural de pavimento en la ruta 157

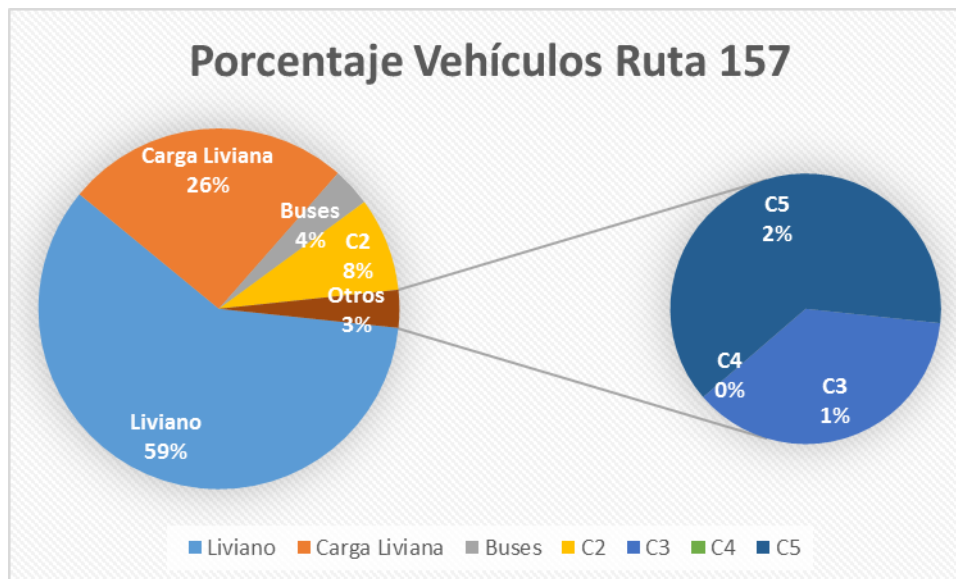
Al igual que en el apartado anterior, se inicia con el cálculo de los ejes equivalentes para la ruta 157, previsto para 5 años. Cabe destacar que esta ruta está teniendo un incremento importante en la cantidad de vehículos que pasan por esta.

Cuadro 48: Cálculo de ESALs Para la Ruta 157

Vehículo	TPD	% Y	Factor Camión	Factor Gy	D	L	365	Total
Liviano	3937	59%	0,005	6,18	0,5	1	365	13106
Carga Liviana	3937	26%	0,02	6,18	0,5	1	365	23102
Buses	3937	4%	2,29	6,18	0,5	1	365	406957
C2	3937	8%	0,07	6,18	0,5	1	365	24879
C3	3937	1%	1,28	6,18	0,5	1	365	56867
C4	3937	0%	0	6,18	0,5	1	365	0
C5	3937	2%	2,38	6,18	0,5	1	365	211475
								736387

Fuente: Elaboración propia con datos para el cálculo de ejes equivalentes en la ruta 157.

Gráfico 14: Porcentaje de Vehículos Que Pasan Por la Ruta 157



Fuente: Elaboración propia con datos para el cálculo de ejes equivalentes en la ruta 150

Paso 1: Tránsito Vehicular

Dado el creciente aumento en la ruta 157 y la proyección a 5 años, la cantidad de ESALs llega a un número de 736387, siendo así mucho mayor que la obtenida en la ruta 150 (San Antonio de Nicoya-Florida de Nicoya), esto debido a la cercanía de la ruta 158 a zonas más pobladas.

Designación	Tránsito Promedio Diario (TPD)	Vehículos pesados por día (VPD)	ESALs (5 años)
T1	≤15	≤3	≤ 3 000
T2	16-50	3-10	3 001-10 000
T3	51-150	21-30	10 001-30 000
T4	151-500	31-100	31 000-100 000

Paso 2: Suelo de Subrasante

Los agregados utilizados para las pruebas de laboratorio, fueron extraídas del mismo sitio (ruta 157), por lo cual, ambos diseños de pavimentos se realizaron con el mismo material granular. Fue de gran ayuda, ya que por la cercanía de las rutas y para efectos de diseño investigativo, se puede utilizar el mismo material granular.

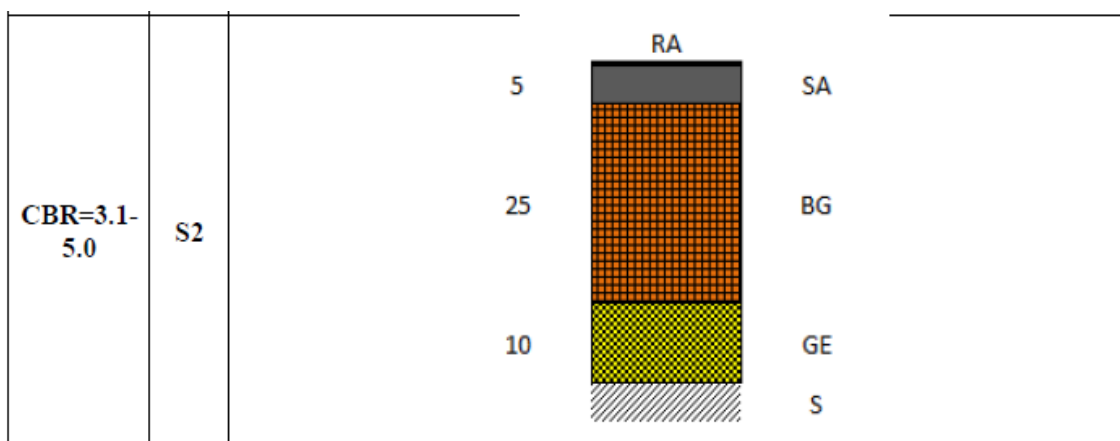
Designación	CBR (%)	Mr (psi)	Mr (MPa)
S1	≤3.0	≤4 500	≤31.0
S2	3.1-5.0	4 501-7 500	31.1-51.7
S3	5.1-10.0	7 501-13 400	51.8-92.4
Referencias para el cálculo de MR a partir de CBR			
Referencia	Rango CBR	Ecuación	
Heukelom & Klomp (1962)	<7.2	$Mr(\text{psi}) = 1500 * CBR$	
CSIR (Witczak et al. 1995)	7.2-20	$Mr(\text{psi}) = 3000 * CBR^{0.65}$	
AASHTO 93	>20	$MR(\text{psi}) = 4326 * \ln(CBR) + 241$	

Paso 3: Designación de diseño pavimento para T4

Con los conceptos claros de las tablas 8 y 9, en los cuales se muestra que la ruta 157, se encuentra en la zona de tránsito vehicular T4 y al igual que en la ruta 150, su suelo de subrasante será S2.

A continuación, se muestra el diseño de pavimento óptimo para esta ruta.

Donde el sello asfáltico tendrá 5 cm, la base granular unos 25 cm mientras que el material granular existente en la ruta, será de 10 cm.



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Habiendo culminado con la investigación sobre la emulsión asfáltica CSS-1h de rompimiento lento como mitigador de polvo, se pueden llegar a tener las siguientes conclusiones:

1. El objetivo general propuesto en este trabajo de investigación, fue el de evaluar la efectividad de la emulsión de rompimiento lento, como mitigador de polvo en rutas situadas en zonas que presenten condiciones climáticas muy secas, por ejemplo, las rutas 150 y 157 intervenidas por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes y el Consejo Nacional de Vialidad. Este objetivo se cumplió, ya que, con los resultados mostrados en el análisis, la efectividad del tratamiento queda en evidencia, tanto en las pruebas de laboratorio (mostrando resistencias iguales o mayores a 3 kPa) como en su comportamiento en campo. Cabe destacar que se deben de hacer mejoras o trabajos extra para incrementar esa efectividad.

Como parte de las mejoras, para incrementar la eficacia y rendimiento del tratamiento con emulsión de rompimiento lento, se pueden tomar las siguientes acciones:

2. Agregar aditivos a la emulsión asfáltica de rompimiento lento que retarden la penetración del agua en la mezcla, imprimir una capa de tratamiento superficial bituminoso (es la más común en nuestro país) y construcción de cunetas pronunciadas, esto con el fin de que el agua que pueda llegar a caer en las zonas donde se aplique el tratamiento, y llegue a drenar de una mejor manera y no afecte la funcionalidad del tratamiento.
3. Como solución alterna, se pueden colocar geo mallas que lleguen a reforzar la resistencia del tratamiento con emulsión de rompimiento lento.
4. Se determina que la presencia de agua en la mezcla asfáltica es sumamente dañina. En las pruebas de laboratorio se pudo denotar que la capacidad de resistencia de las pastillas Marshall acondicionadas, se redujo

casi en su totalidad y la eficacia que el tratamiento superficial pueda tener en campo.

5. Realizar este tipo de tratamiento superficial con emulsión de rompimiento lento en zonas donde la presencia de las precipitaciones sea muy baja y que así no llegue a afectar la resistencia en el tratamiento superficial utilizado en las carreteras
6. En las visitas realizadas a la zona, se logró evidenciar que el tratamiento utilizado fue de gran éxito, ya que, en las zonas más vulnerables a la acción del polvo, entre estas, escuelas, clínicas y casas de habitación, se observó que la disminución de este fue significativa y esto permite cumplir con las exigencias de la Comisión Nacional de Emergencias propuestas en su “Plan General De La Emergencia Por Sequía”.
7. El tratamiento superficial de rompimiento lento debe ser aplicado en rutas de lastre y con un bajo nivel de tránsito. Se puede aplicar en zonas aledañas a construcciones civiles, donde la acumulación de polvo es significativa y puede ser un método alternativo para la mitigación de, este, aunque muchas veces es descartado por el costo que este implica conlleva o requiere
8. En el campo de laboratorio, se logra explicar y mostrar los resultados obtenidos en las dos emulsiones asfálticas de rompimiento lento en los ensayos previos realizados en el Laboratorio de Materiales del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

9. Se describen los procesos de dosificación a utilizar para la elaboración de las pastillas Marshall que se fallan en las pruebas de tensión diametral.
10. Se tabulan los datos obtenidos en las pruebas de tensión diametral y mediante las fórmulas adjuntas en el trabajo de investigación, se obtienen los resultados con los cuales se realizan los gráficos y así tomar las decisiones, sobre cuál porcentaje de asfalto es el adecuado en la mezcla asfáltica.
11. Con todos estos datos listos, el porcentaje de asfalto idóneo para aplicarlo en la mezcla asfáltica será el que contiene 2.5% de emulsión asfáltica, tanto en las pruebas realizadas a la emulsión TK 157, como la TK 155, ya que los picos de resistencia son los más altos.
12. Con respecto a la negativa del Laboratorio Nacional de Materiales, sobre el uso de la emulsión CSS-1h TK 155 (la cual no pasa por la malla #20), se demostró en las pruebas de laboratorio que posee la calidad necesaria para ser utilizada en campo, siempre y cuando se dé el mantenimiento adecuado.
13. Con la ayuda del anuario de tránsito del Ministerio de Obras Públicas y Transporte y las guías de diseño, se pudo calcular los ejes equivalentes y el tránsito que pasa por esas rutas y así diseñar la estructura de pavimentos más adecuada.

CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda consultar más bibliografía en el tema de emulsiones asfálticas, específicamente, en soluciones o tratamientos alternos que se puedan implementar en el país y puedan fungir como mitigadores de polvo en rutas de lastre, esto también con el objetivo de incrementar las resistencias, la vida útil y por qué no abaratar los costos.
2. Darles un buen mantenimiento a las rutas, indiferentemente del tipo de tratamiento que se realice, es de vital importancia, ya que la vida útil se incrementa o por lo menos se mantiene; si se le da un correcto seguimiento, esto llevando como beneficio la disminución de los daños en la capa de rodamiento.

CAPÍTULO VII. BIBLIOGRAFIA

- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (11 de Enero de 2006). *Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo*. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias: <https://www.cne.go.cr/Documentos/legal/LEY%20NACIONAL%20DE%20EMERGENCIA%208488.pdf>
- Barrantes, J. C. (2015). Sello asfáltico no estructural integrado contra erosión. *Así Avanzamos*, 1(2), 4.
- Comisión Nacional de Emergencia. (2015). *Plan General de la Emergencia por Sequía*. San José, Costa Rica: Unidad de Desarrollo Estratégico del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo.
- Comisión Nacional de Emergencias. (Enero de 2015). *Plan General de la Emergencia por Sequía*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2016, de Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias: https://www.cne.go.cr/decretos_2015/pdf/spa/plan002.pdf
- Dagang Road Machinery. (s.f.). *Casos de aplicación*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2016, de Dagang Road Machinery: http://dgroadmachinery.es/big_img.html?etw_path=http://dgroadmachinery.es/case.html&big_etw_img=about/7-7b.jpg
- Denzin, N., & Lincoln, Y. (2005). *The discipline and practice of qualitative research*. Recuperado el 26 de Febrero de 2017, de Fundación Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=490631#volumen78368>
- Gobierno de la República de Panamá. (s.f.). *Método Superpave optimizará la durabilidad de las carreteras*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2016, de Ministerio de Obras Públicas de Panamá: <http://www.mop.gob.pa/metodo-superpave-optimizara-la-durabilidad-en-las-carreteras/>
- Google Maps. (s.f.). *Vista aérea de las instalaciones del Laboratorio de Materiales MOPT*. Obtenido de <https://www.google.co.cr/maps/search/laboratorio+del+mopt/@9.9303177,-84.0867394,14z?hl=es>
- Instituto de Asfalto & Asociación Fabricante de Emulsiones Asfálticas. (s.f.). *Manual básico de Emulsiones Asfálticas N.19*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2016, de Tecnologías de Asfalto en frío: <https://drive.google.com/file/d/0B0G-9shdrCUN09MM29rb2M1VVk/edit>
- Instituto de Asfalto; Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas. (4ta edición). *Manual básico de emulsiones asfálticas*. Estados Unidos.
- Instituto Geográfico de Costa Rica. (1989). *Vista aérea de la sección de ruta 150, San Antonio-Florida, ubicada en Nicoya, Guanacaste*.
- Instituto Geográfico de Costa Rica. (1989). *Vista aérea de la sección de Ruta 157, Mansión-Casitas, Nicoya, Guanacaste*.
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2013). *Procedimiento de diseño de mezcla*. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales.

- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2014). *Guía para el diseño de materiales granulares estabilizados con emulsión y ensayos de control de calidad*. Recuperado el 01 de Diciembre de 2016, de Lanname UCR: <http://revistaiv.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/banners%20frontpage/procedimiento%20de%20diseno%20de%20mezcla%20baja%20calidad.pdf>
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2016). *Sello integrado con emulsión asfáltica de rompimiento lento*. San José, Costa Rica: Unidad de Gestión Municipal Lanname UCR.
- Ley General de Caminos Públicos- Ley 5060 (Asamblea Legislativa de Costa Rica 22 de Agosto de 1972).
- Ministerio de Economía, Industria y Comercio- MEIC. (2005). *Reglamento Técnico Centroamericano, RTCA 75.01.22:04, PRODUCTOS DE PETRÓLEO. ASFALTOS. ESPECIFICACIONES*. Recuperado el 30 de Noviembre de 2016, de Refinadora Costarricense de Petróleo: https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2013/07/RTCA_75_01_22_04_Decreto_Ejecutivo_32812_Especificaciones_de_Calidad_Asfaltos-1.pdf
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes*. San José, Costa Rica: Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).
- POSE, Constructora S.A. (s.f.). *Colocación de asfalto en Cordoba*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2016, de POSE, Constructora S.A: <http://posesa.com.ar/obras-viales/colocacion-de-asfalto-en-cordoba/>
- Proceso de Planificación Estratégica Multimodal de Servicios de Infraestructura y de Transporte. (2015). *Anuario de Información de Tránsito 2015*. San José, Costa Rica: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- Rodriguez, C., & Rodriguez, J. (Agosto de 2004). *Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje*. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador: http://ri.ues.edu.sv/2234/1/Evaluaci%C3%B3n_y_rehabilitaci%C3%B3n_de_pavimentos_flexibles_por_el_m%C3%A9todo_del_reciclaje.pdf
- Unidad de Gestión Municipal del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica. (Setiembre de 2016). *Sello asfáltico no estructural con emulsión asfáltica de rompimiento lento*. San José, Costa Rica: Lanname UCR. Recuperado el 29 de Noviembre de 2016, de Programa de Infraestructura de Transporte, LannameUCR.
- Unidad de Gestión Municipal del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica. (Octubre de 2016). *Sello integrado con emulsión asfáltica de rompimiento lento*. San Jose, Costa Rica: Lanname UCR.

CAPITULO VIII. ANEXOS

ANEXO 1



1514A16

INFORME DE ENSAYOS
 AS-08-06-008

 Rige a partir de
 2013-06-12
 Version 8

Tipo de producto: Emulsion Asfáltica Lenta (CSS-1E) Lote N°: 55-86 Fecha de muestreo: 2016/05/02
 Tanque N°: 155. Solicitado por: Producto Negro Fecha de recepción: 2016/05/02
 Volumen, m³: 70,0 Plantel: El Alto

Ensayo	Descripción	Resultado	Especificación	Analista	Fecha
**ASTM D-6937	Densidad a 25 °C, kg/m ³	1016 ± 34	Reportar	JOSEFINA-SB	2016/05/02
*ASTM D-88	Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, SSF	27,9 ± 0,5	20,0 - 100,0	JOSEFINA-SB	2016/05/02
**ASTM D-6997	Residuo evaporado, fracción masa asfalto, % en masa	64,7 ± 2,0	Mínimo 57	ARNOLDO-GC	2016/05/02
	Fracción volumen de aceite destilado, % v/m	1,0 ± 2,0	Reportar		
*ASTM D-5	Penetración residuo (25 °C, 100 g, 5 s), 1/10mm	77,0 ± 2,5	40,0 - 90,0	ARNOLDO-GC	2016/05/02
**ASTM D-6933	Fracción masa retenida en malla N°20, % en masa	0,30	Máximo 0,10	JOSEFINA-SB	2016/05/02
**ASTM D-6930	Estabilidad 24h, fracción de asfalto, % en masa	0,5	Máximo 1	JOSEFINA-SB	2016/05/03

Muestreo realizado de acuerdo a *ASTM D4057 por: DANNY-ET

REGULACIÓN: Los siguientes análisis: ASTM D-6933: NO CUMPLE(N) con lo especificado en el Decreto Ejecutivo N°32812-COMEX-MINAE-MEIC. Reglamento Técnico Centroamericano, RTCA 75.01.22.04. Especificaciones técnicas para Asfaltos y Emulsiones Asfálticas.

* Ensayo Acreditado. **Ensayo No acreditado. Todas las referencias ASTM marcadas con un asterisco (*) están asociadas al ensayo acreditado

OBSERVACIONES:

Químico(a):

Silvia Wong Wong

Nombre

 SILVIA MARIA
 WONG WONG
 (FIRMA)

Firma

2016/05/03

Fecha de aprobación



Los resultados de los análisis no podrán ser reproducidos parcialmente sin previa autorización del laboratorio

Se informa la incertidumbre expandida, con un factor de cobertura k=2, para un 95 % de confianza.

Ensayos realizados por el : Laboratorio El Alto

Apartado: 4351-1000

Teléfono: (506) 2550-3737

 Referencia LDC
 1514A16
 10/11

Página 1 de 1

ANEXO 2

RECOPE
Seguridad energética



3493A16

INFORME DE ENSAYOS
AS-09-06-038

Rige a partir de
2016-06-27
Version 1


Tipo de producto: Emulsion Asfáltica Leuta (CSS-1H) Lote N°: 67-189 Fecha de muestreo: 2016/11/07
Tanque N°: 157 Solicitado por: Producto Negro Fecha de recepción: 2016/11/07
Volumen, m³: 35,0 Plantel: El Alto

Ensayo	Descripción	Resultado	Especificación	Analista	Fecha
ASTM D-7496	Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, SSF	24,0 ± 1,40	20,0 - 100,0	JOSEFINA-SB	2016/11/07
ASTM D-6937	Densidad a 25 °C, kg/m ³	1016 ± 34	Reportar	JOSEFINA-SB	2016/11/07
ASTM D-6997	Residuo evaporado, fracción masa asfalto, % en masa	65,4 ± 2,0	Mínimo 57	ARNOLDO-GC	2016/11/07
	Fracción volumen de aceite destilado, % volumen masa	1,0 ± 2,0	Reportar		
ASTM D-5	Penetración residuo (25 °C, 100 g, 5 s), 1/10mm	56,0 ± 2,5	40,0 - 90,0	ARNOLDO-GC	2016/11/08
ASTM D-6933	Fracción masa retenida en malla N°20, % en masa	0,03	Máximo 0,10	JOSEFINA-SB	2016/11/07
ASTM D-6930	Estabilidad 24h, fracción de asfalto, % en masa	0,2	Máximo 1	JOSEFINA-SB	2016/11/08

Muestreo realizado de acuerdo a ASTM D1057 por DANNY ET

REGULACIÓN: Los resultados de los análisis ejecutados CUMPLEN con la indicado en el Decreto Ejecutivo N°32812-COMEX-MINAE-MEIC. Reglamento Técnico Centroamericano, RTCA 75.01.22.04. Especificaciones técnicas para Asfaltos y Emulsiones Asfálticas.

OBSERVACIONES:

Químico(a)	<u>Silvia Wong Wong</u>		<u>2016/11/08</u>
	Nombre	Firma	Fecha de aprobación

Los resultados de los análisis no podrán ser reproducidos parcialmente sin previa autorización del laboratorio. Se informa la incertidumbre expandida, con un factor de cobertura k=2, para un 95 % de confianza.

Ensayos realizados por el Laboratorio El Alto, ubicado en Kilometro 12 km. Ruta 2, Ochomogo, San Nicolás, Cartago.


Apartado 4351-1086

Teléfono: (506) 2550-3747

e-mail: serviciosclientes@reCOPE.gov.cr

ANEXO 3

Estado Emuls.

 LABORATORIO SUBDIRECCION DE GEOTECNIA Y MATERIALES	FORMULARIO PARA INGRESO DE MUESTRAS	0000121 Código N. MOPT-PT/03-F/01
		Fecha emisión: Enero 2010
		Versión: 01 Página: 1 de 1

INFORMACIÓN GENERAL		
PROYECTO: RN 157 sección Navas - Casitas	UBICACIÓN / PROCEDENCIA / No. LOTE: Nicoya, Guanacaste	FECHA MUESTREO: 16/05/2013
FUENTE: NI	USO DEL MATERIAL: Material Granular	HORA MUESTREO: NI
PLANTA / CONTRATISTA: NI	TEMPERATURA / PROFUNDIDAD / COLOR: NI	CANTIDAD: 4 Sacos
NOMBRE DEL RESPONSABLE DEL MUESTREO: NI	PUNTO DE MUESTREO: Punto 1	NÚMERO DE MUESTRA: IM-SPE-16-078

ENSAYOS SOLICITADOS		
SUELOS, BASES Y SUBBASES Próctor Estándar Próctor Modificado CBR Límites de Atterberg Tamaño menor tamiz No. 200 (Vía húmeda) Análisis granulométrico (Vía seca) Pérdida por Sanidad Abrasión de los Ángeles Humedad Índice de durabilidad Caras de fractura Estabilización con cemento Estabilización con emulsión Muestra: IMMAE-16-019	MEZCLA ASFÁLTICA Contenido de asfalto Granulometría Estabilidad y Flujo Gravedad específica bruta Gravedad específica Máxima Teórica Compresión uniaxial retenida Tensión indirecta retenida Contenido de agua Contenido de ceniza AGREGADOS Tamaño menor tamiz No. 200 (Vía húmeda) Análisis granulométrico (Vía seca) Equivalente de arena Sanidad Índice de durabilidad Abrasión Partículas filables Impurezas orgánicas Partículas planas y alargadas Caras de fractura Gravedad específica y absorción-Finos Gravedad específica y absorción-Gruesos Peso unitario suelto Peso unitario envasado	EMULSIONES ASFÁLTICAS Residuo asfalto- evaporación Densidad Porcentaje retenido en la malla N. 20 Desnudamiento PINTURAS Contenido de pigmentos Sólidos Totales Abrasión Peso Unitario Tiempo de secado Viscosidad Resistencia al agrietamiento Finura de dispersión (Hegman) Vehículo no-volátil MÚCLEOS Espesor Densidad Resistencia a compresión CONCRETO HIDRÁULICO Y BASES ESTABIL. Resist. a compresión: (7) (14) (28) Resist. a flexotracción: (7) (14) Densidad y contenido de humedad

OBSERVACIONES
Revisión de pastillas con 3, 3.5 y 4% de emulsión.

DATOS DEL SOLICITANTE		
SOLICITANTE: Ing Mano Campos Vega.	NÚMERO DE OFICIO: DOP-DI-6M-TC-2016-0041	NOMBRE Y FIRMA DE QUIEN ENTREGA: Mano Campos Vega
USO EXCLUSIVO DEL LABORATORIO		
NÚMERO DE INFORME:	FECHA DE INGRESO DE LA MUESTRA: 20 MAY 2016	NOMBRE Y FIRMA DE QUIEN RECIBE: LPE

ANEXO 3



FORMULARIO PARA EL CALCULO Y REPORTE DE RESULTADOS
 ENSAYO DE PROCTOR (AASHTO T-180)
 Subdirección de Geotecnia y Materiales
 Laboratorio de materiales, Depto de suelos

N° de Identificación: IM-SBE-15-078
 Uso: Subbase
 Fecha de Ensayo: 03/06/2016
 Técnico Responsable: JAS

Metodo Utilizado: c
 N° de capas: 5 % de finos: 50
 N° de golpes: 25 % de gruesos: 50
 Mazo: 10 lbs

usar este



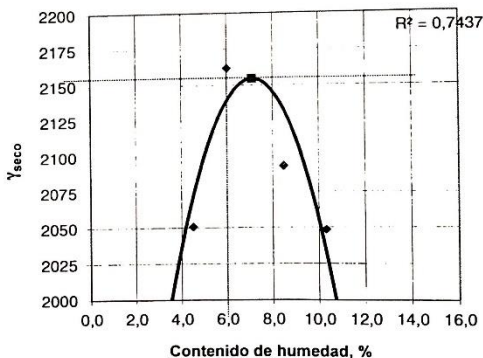
K = 1,061

DENSIDAD

Agua agregada, ml	100	150	150	250	300		
W muestra húmeda + molde, g	6210	6350	6350	6330	6320		
W molde, g	4190	4190	4190	4190	4190		
W muestra húmeda, g	2020	2160	2160	2140	2130		
γ_w , kg/m ³	2143	2292	2292	2271	2260		
γ_s , kg/m ³	2051	2162	2162	2093	2049		

CONTENIDO DE HUMEDAD

W muestra húmeda + capsula, g	345,7	366,6	366,6	340,9	357,6		
W muestra seca + capsula, g	333,2	349	349	318,5	328,5		
W agua, g	12,5	17,6	17,6	22,4	29,1		
W capsula, g	55,5	56,1	56,1	54,3	46,4		
W muestra seca, g	277,7	292,9	292,9	264,2	282,1		
Porcentaje de humedad	4,5	6,0	6,0	8,5	10,3		



Supervisor: L.R.C.

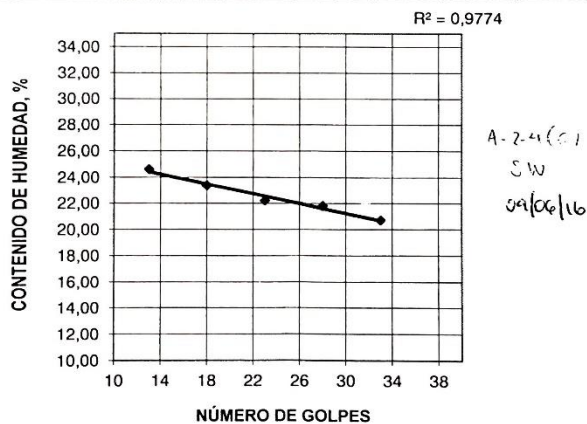
ANEXO 3



**FORMULARIO PARA EL CALCULO Y REPORTE DE RESULTADOS
ENSAYO LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO(AASHTO T 89 Y90)
Subdirección de Geotecnia y Materiales
Laboratorio de materiales, Depto de suelos**

N° de Identificación: IM-SBE-16-078
Uso: Mat Granular
Fecha de ensayo: 7-jun.-16
Técnico Responsable: JAS

PRUEBA No.	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	1	2	3
CAPSULA No.	4	37	82	54	80	11	59	63
No. GOLPES	33	28	23	18	13			
P muestra humeda + capsula g	10,86	12,76	13,02	13,62	14,19	14,32	16,1	14,85
P muestra seca + capsula g	10,17	12,14	12,32	12,82	13,55	13,69	15,47	14,24
P agua g	0,69	0,62	0,7	0,8	0,64	0,63	0,63	0,61
P capsula g	6,84	9,3	9,17	9,4	10,95	9,16	10,95	9,61
P muestra seca g	3,33	2,84	3,15	3,42	2,6	4,53	4,52	4,63
Porcentaje de humedad	20,7	21,8	22,2	23,4	24,6	13,9	13,9	13,2

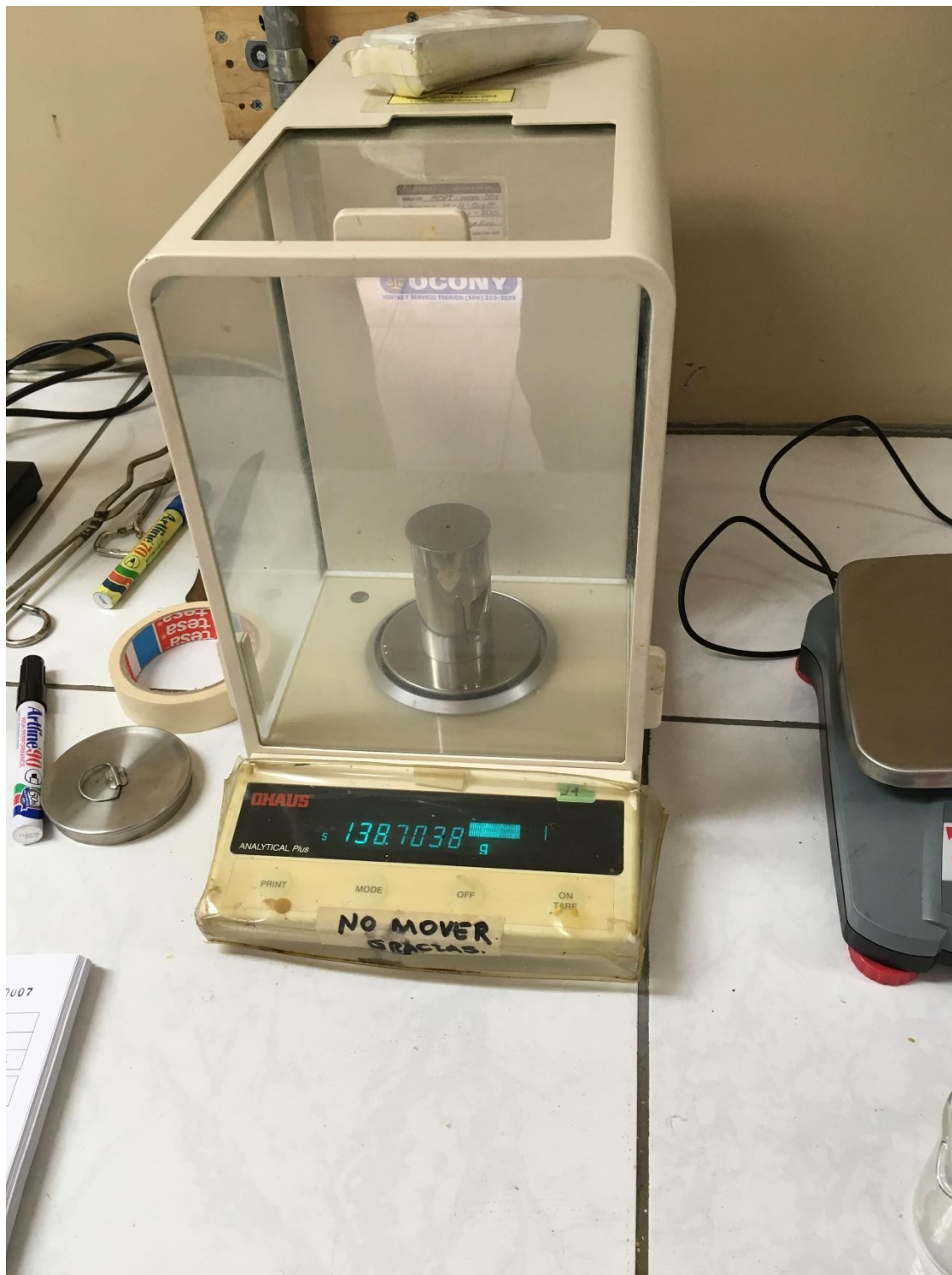


Limite Liquido 22
 Limite Plastico 14
 Indice Plastico 9 %

Supervisor: LAC

Observaciones: _____

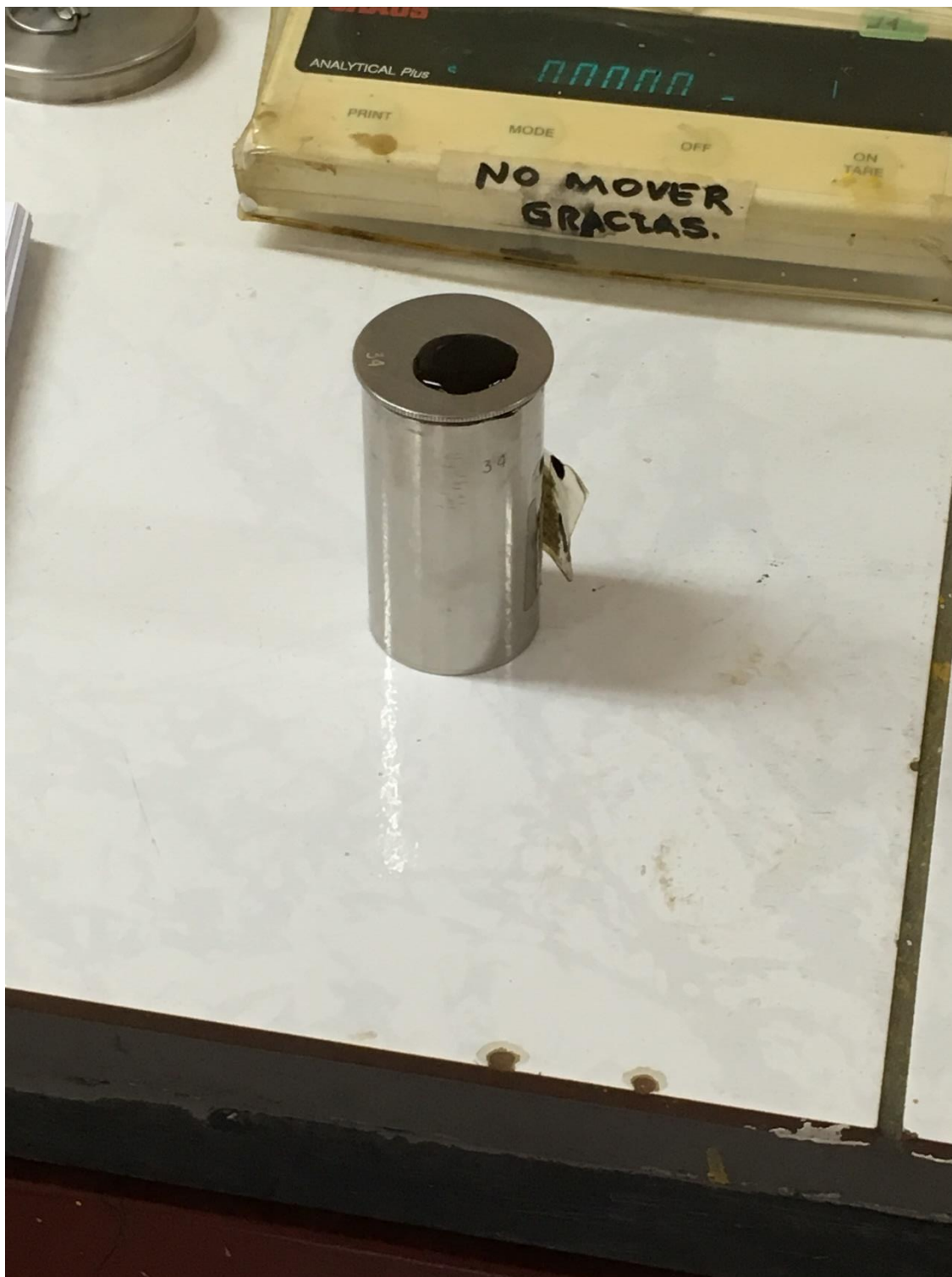
ANEXO 4



ANEXO 5



ANEXO 6



ANEXO 7



ANEXO 8



ANEXO 9



ANEXO 10



ANEXO 11



ANEXO 12



ANEXO 13



ANEXO 14



ANEXO 15



ANEXO 16



ANEXO 17



ANEXO 18



ANEXO 19



ANEXO 20



ANEXO 21



