



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA TIPO CSS1H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA
COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA Y SU EVALUACIÓN COMPARATIVA UTILIZANDO UN
AGENTE EMULSIFICANTE COMERCIAL**

Ana Gabriela Valdés Argueta

Asesorado por el Ing. César Alfonso García Guerra

Guatemala, octubre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO
UNA FRACCIÓN LIPÍDICA Y SU EVALUACIÓN COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN
UTILIZANDO EL AGENTE EMULSIFICANTE COMERCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA

ASESORADO POR EL ING. CÉSAR ALFONSO GARCÍA GUERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO A.I.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADORA	Inga. Cinthya Patricia Ortiz Quiroa
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACIÓN COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN A PARTIR DEL AGENTE EMULSIFICANTE COMERCIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 12 de noviembre de 2018.

Ana Gabriela Valdes Argueta

Guatemala, 11 de agosto de 2023



Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Williams Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final en la modalidad TESIS, con seminario de investigación aprobado, del trabajo de graduación titulado: “DISEÑO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA TIPO CSS1H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA Y SU EVALUACIÓN COMPARATIVA UTILIZANDO UN AGENTE EMULSIFICANTE COMERCIAL”, elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Ana Gabriela Valdés Argueta, quien se identifica con el registro académico 2013 14618 y con el CUI 2854 87256 2001.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



César Alfonso García Guerra
ASESOR
Ingeniero Químico
Colegiado activo no. 145



Guatemala, 26 de septiembre de 2023.
Ref. EIQ.TG-IF.023.2023.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **002-2023**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Ana Gabriela Valdés Argueta**.
Identificado con número de carné: **2854872562001**.
Identificado con registro académico: **201314618**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **TESIS (Informe Final, Seminario de Investigación)**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

DISEÑO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA TIPO CSS1H, UTILIZANDO LECITINA DE DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA Y SU EVALUACIÓN COMPARATIVA UTILIZANDO UN AGENTE EMULSIFICANTE COMERCIAL

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

César Alfonso García Guerra, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ingrid Lorena Benitez P.
Ingeniera en Ingeniería Química y Tecnología
del Medio Ambiente
Colegiado No. 1974
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



SIST.LNG.DIRECTOR.2.EIQ.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA TIPO CSS1H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA Y SU EVALUACIÓN COMPARATIVA UTILIZANDO UN AGENTE EMULSIFICANTE COMERCIAL**, presentado por: **Ana Gabriela Valdes Argueta**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”



Ingeniero Williams Guillermo Alvarez Mejia
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, octubre de 2023



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.97.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA TIPO CSS1H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA Y SU EVALUACIÓN COMPARATIVA UTILIZANDO UN AGENTE EMULSIFICANTE COMERCIAL**, presentado por: **Ana Gabriela Valdes Argueta** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 22/10/2023 12:57:18
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, octubre de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 97 CUI: 2854872562001

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la vida, fuerza y sabiduría necesaria para culminar mi carrera; por llenarme de bendiciones y nunca abandonarme.
- Mis padres** Elsa Marina Argueta Castillo y Rabindranath Valdés Hernández por su apoyo incondicional, ejemplo de amor y dedicación en todo lo que realizan.
- Mis hermanos** Edlyn y Natalia María Valdés por cuidarme apoyarme en todo, por hacerme sentir segura de cumplir mis metas y acompañarme en este camino.
- Mis abuelos** Mis abuelos Consuelo Hernández, que con su sabiduría y amor me ayudaron a crecer en la vida. A Marcos Castillo, Benjamín Argueta y Elías Valdés por ser ángeles en mi vida.
- Mi familia** Tíos, tías, primos, primas. Por su apoyo y muestras de cariño que han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

Mi Padrino

Álvaro García Argueta, por tu influencia en mi vida ha dado significado ser un consejero lleno de luz y buenas energías.

Carlos Díaz

Por las muestras de cariño y tu entusiasmo por mis logros académicos y fe en mis capacidades me han impulsado a alcanzar metas.

Mi prima

Bianka Argueta Valdés, querida prima y mejor amiga por ser esa persona que sin importar las circunstancias me apoya.

Mis sobrinos

Santiago Orellana Valdés y Marco Aurelio Aguilar Valdés, dos personas especiales que en poco tiempo han llenado mi vida de alegría y amor.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Casa de estudios que me abrió las puertas para formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para que pueda ejercer una carrera profesional.
Mis amigos de la facultad	Por todas las buenas experiencias que vivimos y la oportunidad de compartir una meta en común, en especial a Carol Reyes, Christian Estrada, Alejandra Escobar, Manuel García, Abner Zúñiga, Regina Urizar, Andrea Gutiérrez, Perla Valenzuela, Alejandro Castellanos, Krisbell Orellana.
Mis amigas de colegio	Por su apoyo incondicional y por nuestra amistad ha perdurado desde la infancia Estefany Flores, Shirley Caceres, Eldy Flores, Susan Guerra.
Mi asesor de trabajo de graduación	César Alfonso García Guerra, por, compartir sus conocimientos, consejos, tiempo y sobre todo esa motivación del poder culminar con mis metas.

Mi revisora

Ingrid Lorena Benitez Pacheco, por su tiempo en la revisión y correcciones, así como sus consejos profesionales.

Director de Escuela

Williams Guillermo Álvarez Mejía, por brindarme sus conocimientos y consejos a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Emulsión asfáltica.....	5
2.2. Componentes de una emulsión asfáltica	5
2.2.1. Asfalto.....	6
2.2.2. El agua	7
2.2.3. Agente emulsificante	8
2.2.3.1. Rotura de la emulsión.....	14
2.2.4. Propiedades básicas de las emulsiones asfálticas	18
2.2.4.1. Propiedades intrínsecas	19
2.2.4.2. Propiedades mecánicas	22
2.3. Tensoactivos catiónicos.....	23
2.4. Lecitina de soya.....	26
3. DISEÑO METODOLÓGICO	31
3.1. Variables.....	31

3.1.1.	Variables independientes	31
3.1.2.	Variables dependientes	31
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	32
3.3.	Recursos humanos disponibles	32
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	33
3.4.1.	Equipo	33
3.4.2.	Cristalería	35
3.4.3.	Reactivo	36
3.5.	Recolección y ordenamiento de la información	36
3.5.1.	Diagrama de flujo de procedimiento de rutina	37
3.6.	Diseño de las emulsiones	39
3.7.	Evaluación de cementos asfálticos	40
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	44
3.9.	Análisis estadístico.....	44
3.9.1.	Determinación de corridas a realizar	44
3.9.2.	Media.....	45
3.9.3.	Desviación estándar	45
3.10.	Plan de análisis de datos	45
3.10.1.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	46
3.10.2.	Programas a utilizar para análisis de datos.....	46
4.	RESULTADOS.....	47
4.1.	Generalidades	47
4.2.	Emulsiones.....	47
4.3.	Pruebas para el cemento asfáltico a las diferentes concentraciones de LS.....	48
4.3.1.	Ductilidad 25 °C, 5cm/min, (cm)	49

4.3.2.	Viscosidad dinámica 135 °C (cPs).....	49
4.3.3.	Punto de ablandamiento (bola-anillo) (5°C/minuto)	51
4.3.4.	Penetración 25 °C, mm/10.....	53
4.4.	Pruebas para cementos asfálticos AC 30 emulsificado con ASFIER 240 y a las diferentes concentraciones de LS	54
4.4.1.	pH.....	55
4.4.2.	Asentamiento 24 horas.....	56
4.4.3.	Viscosidad Saybolt Furol 50 °C (SSU).....	58
4.4.4.	Tamiz #20 (%)	59
4.4.5.	Carga de partícula	61
4.4.6.	Tiempo de rompimiento	62
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	65
5.1.	Diseño de las emulsiones.....	65
5.2.	Cemento asfáltico.....	66
5.2.1.	Ductilidad 25° C, (cm).....	69
5.2.2.	Viscosidad a 135 °C	69
5.2.3.	Punto de ablandamiento °C.....	71
5.2.4.	Penetración a 25 °C.....	71
5.3.	Emulsión asfáltica.....	72
5.3.1.	pH.....	73
5.3.2.	Asentamiento 24 horas	74
5.3.3.	Viscosidad de Saybolt Furol	74
5.3.4.	Tamiz # 20.....	75
5.3.5.	Carga eléctrica de la partícula	75
5.3.6.	Tiempo de rompimiento	76
	CONCLUSIONES	77

RECOMENDACIONES 79
REFERENCIAS 81
ANEXOS..... 87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Orientación del emulsificante en el glóbulo del ligante	11
Figura 2.	Etapas de la rotura en una emulsión asfáltica	16
Figura 3.	Proceso industrial de emulsificación	19
Figura 4.	Sal de amina grasa y sal de amonio cuaternario	24
Figura 5.	Tensoactivos catiónicos.....	24
Figura 6.	Estructura de la lecitina.....	27
Figura 7.	Equipo de laboratorio utilizado.....	34
Figura 8.	Cristalería utilizada	35
Figura 9.	Diagrama de flujo procedimiento de rutina	38
Figura 10.	Diseño de emulsión asfáltica en laboratorio	39
Figura 11.	Curva de neutralización ASFIER 240	43
Figura 12.	Ensayo de laboratorio, cemento asfáltico	43
Figura 13.	Resultados ensayo viscosidad dinámica 135 °C (cPs)	51
Figura 14.	Resultados ensayo Punto de ablandamiento (bola-anillo) (°C)....	52
Figura 15.	Resultados ensayo Penetración 25 °C (mm/10)	54
Figura 16.	Resultados ensayo pH.....	56
Figura 17.	Resultados ensayo Asentamiento 24 Horas (% de asfalto)	57
Figura 18.	Resultados ensayo Viscosidad Saybolt Furol 50 °C (SSU)	59
Figura 19.	Resultados ensayo Tamiz # 20 (% retención)	61
Figura 20.	Especificaciones de graduación del cemento asfáltico	67
Figura 21.	Equivalencias grado de penetración y viscosidad	68

TABLAS

Tabla 1.	Principales tipos de tensoactivos.....	25
Tabla 2.	Formatos para la recolección de información	37
Tabla 3.	Ensayos a cementos asfálticos y norma aplicable	40
Tabla 4.	Ensayos a emulsión asfáltica y norma aplicable	41
Tabla 5.	Curva de neutralización ASFIER 240	42
Tabla 6.	Resultados ensayo Ductilidad 25 °C, 5cm/min, (cm).....	49
Tabla 7.	Resultados ensayo viscosidad dinámica 135 °C (cPs).....	50
Tabla 8.	Resultados ensayo Punto de ablandamiento (bola-anillo) (°C)	52
Tabla 9.	Resultados ensayo Penetración 25 °C (mm/10).....	53
Tabla 10.	Resultados ensayo pH	55
Tabla 11.	Resultados ensayo Asentamiento 24 Horas (% de asfalto).....	57
Tabla 12.	Resultados ensayo Viscosidad Saybolt Furol 50 °C (SSU).....	58
Tabla 13.	Resultados ensayo Tamiz # 20 (% retención)	60
Tabla 14.	Resultados ensayo Carga de partícula.....	62
Tabla 15.	Resultados ensayo Tiempo de rompimiento	62
Tabla 16.	Resultados análisis al cemento asfáltico con las concentraciones de 0 %, 14 %, 15 % y 16 % LS.....	63
Tabla 17.	Resultados análisis a las emulsiones asfálticas con emulsificantes ASFIER 240, lecitina de soya con las concentraciones de 14 %, 15 % y 16 % LS.....	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AC	Cemento Asfáltico
cm	Centímetros
cPs	<i>Centipoise</i>
cSt	<i>Centistokes</i>
°C	Grados Centígrados
g	Gramo
H	Horas
LS	Lecitina de soya
mL	Mililitro
mm	Milímetros
%	Porcentaje
+	Positivo
pH	Potencial de hidrógeno
s	Segundos
T	Temperatura
t	Tiempo
V	Volumen

GLOSARIO

AASHTO	Siglas que corresponden a la entidad <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> .
Agente emulsificante	Son unos de los tipos de tensioactivos, con una estructura con afinidad a los lípidos (lipófila) y otra con afinidad por el agua (hidrofílica), que puede establecerse en torno a las capas límite entre los componentes acuosos como aceitosos.
Asfalto	Sustancia de color negro que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo, se utiliza frecuentemente en de la pavimentación de calles y carreteras.
ASTM	Siglas que corresponden a la entidad <i>American Society For Testing And Materials</i> .
Cemento asfáltico	Sustancia de color negro que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo, se utiliza frecuentemente en de la pavimentación de calles y carreteras.
CSS1H	Es un asfalto emulsionado catiónico de fraguado lento diseñado para proporcionar una adhesión superior.

Emulsión	Mezcla de dos líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea.
Emulsión asfáltica	Una emulsión es una mezcla estable y homogénea de dos líquidos que normalmente no pueden mezclarse, (son inmiscibles entre ellos), como el aceite y el agua. En el caso de una emulsión asfáltica los dos líquidos no miscibles son el agua y el asfalto.
Emulsión asfáltica Catiónica de quiebre lento	Es un asfalto emulsionado catiónico de fraguado lento diseñado para proporcionar una adhesión superior, es una emulsión de color café y estado líquido, compuesto en base a una dispersión de asfalto en agua, emulsificantes y aditivos. No contaminante, de excelente durabilidad y adherencia a diferentes tipos de áridos.
Índice de penetración	Índice que se obtiene a partir de los valores de la penetración como y del punto de ablandamiento anillo y bola de ligantes asfálticos modificados. Sirve criterio de medida de la susceptibilidad de un asfalto modificado a los cambios de temperatura y de su comportamiento reológico.

Lecitina de soya	Es un compuesto químico formado principalmente por ácidos grasos, glicerol, ácido fosfórico y colina, y es uno de los fosfolípidos. Es un producto completamente natural que se encuentra en las yemas de huevos, las habas de soja, las semillas de girasol y las células de las semillas de las plantas.
Mezcla en frío	Mezcla asfáltica que puede fabricarse, extenderse y compactarse a la temperatura ambiente.
Muestra	Porción extraída de un producto determinado que se utiliza y permite conocer la calidad del mismo además de ser considerado como muestra representativa.
Número HLB	Expresa el balance hidrofílico-lipofílico del emulsionante (del inglés <i>hydrophilic lipophilic balance</i>). Este responde a la estructura química de cada emulsionante, siendo uno de los criterios fundamentales para la selección de los emulsionantes para preparar una emulsión determinada.
Penetración	Consistencia de un material bituminoso, se expresa como la distancia, en décimas de milímetro (0.1 mm), que una aguja patrón penetra verticalmente una muestra del material bajo condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura.
Poise	Unidad de viscosidad dinámica que equivale a una dina sobre una superficie de un centímetro cuadrado.

Stoke

Unidad de viscosidad cinemática igual a la viscosidad de un fluido en poises dividida entre la densidad del fluido en gramos por centímetro cúbico.

RESUMEN

La presente investigación es la evaluación comparativa de cuatro diferentes emulsiones de cemento asfáltico AC-30 con composición al 50 % p/p, agregando a una de ellas ASFIER 240 y las siguientes 14, 15 y 16 % de lecitina de soya como emulsificante, evaluando la factibilidad de la sustitución del agente emulsificante comercial ASFIER 240 por uno de origen vegetal lecitina de soya, debido a la importancia de la reducción del impacto ambiental que estas mezclas asfálticas presentan.

Estas deben contar con propiedades fisicoquímicas similares y cumplir con las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos de Guatemala, en las secciones 401 y 402, así como las normativas AASHTO y ASTM por lo cual se evaluaron las emulsiones mediante las pruebas del pH, visualización, retenido en tamiz #20, viscosidad dinámica, asentamiento de 24 horas, carga de partículas y rompimiento de emulsiones, además se evaluó el cemento asfáltico AC-30 con las concentraciones 0, 14, 15 y 16 % de lecitina de soya midiendo el punto de ablandamiento, penetración, ductilidad y viscosidad cinemática; con lo cual se garantiza la calidad de las mismas.

Se concluyó que no se puede sustituir por completo el agente emulsificante comercial ASFIER 240 debido a que la lecitina de soya modifica las condiciones fisicoquímicas de la emulsión por lo que ya no cumple con las normas establecidas.

OBJETIVOS

General

Diseñar una emulsión asfáltica natural a partir del agente emulsificante extraído de aceite vegetal (lecitina de soya) y realizar una evaluación de sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas en comparación a las de una con una emulsión asfáltica convencional a partir del agente emulsificante ASFIER 240 ambas del tipo CSS1H.

Específicos

1. Caracterizar el comportamiento del cemento asfáltico AC-30 mediante ductilidad, viscosidad dinámica, penetración y punto de ablandamiento en función de sus diferentes porcentajes de emulsificante natural lecitina de soya, que cumpla los requerimientos de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.
2. Evaluar el porcentaje óptimo de emulsificante natural (lecitina de soya) que satisfaga las propiedades fisicoquímicas y mecánicas requeridas por las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.
3. Determinar el tiempo de rompimiento de la emulsión asfáltica natural en sus diferentes porcentajes de agente emulsificante natural (lecitina de soya) y convencional ASFIER 240.

4. Determinar la carga de la emulsión y su polaridad de la emulsión asfáltica natural en sus diferentes porcentajes de agente emulsificante natural (lecitina de soya) y convencional ASFIER 240.
5. Determinar la afinidad en la emulsión entre el agregado y el ligante a partir de la adhesividad mediante la prueba de asentamiento.
6. Caracterizar la emulsión en función del emulsificante y sus diferentes porcentajes de agente emulsificante natural (lecitina de soya) con base a la emulsión convencional con ASFIER 240.
7. Determinar la efectividad de la emulsión asfáltica con base en las diferencias significativas de los parámetros: tiempo de rompimiento, carga de la emulsión y polaridad, afinidad en la emulsión entre el agregado y el ligante y viscosidad entre las emulsiones de lecitina de soya y ASFIER 240.

INTRODUCCIÓN

El uso de emulsiones asfálticas en Guatemala es de gran importancia teniendo una mayor demanda en la construcción de carreteras utilizados en riegos de liga, sellos asfálticos, mezclas asfálticas en frío, siendo la más utilizada la emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta conocida como del tipo CSS-1h, en Guatemala las emulsiones asfálticas catiónicas que más se utilizan son las siguientes: CMS-2, CMS-2h, CSS 1 y CSS-1h (Peláez, 2018).

En la actualidad los productos asfálticos tienen un gran desarrollo y se cuenta con nuevas emulsiones asfálticas, producto del desarrollo de investigaciones y la realización de distintas pruebas en los diferentes materiales que conforman un asfalto (Ulloa, 2012).

En este estudio se realizó una evaluación comparativa para dos tipos de agentes emulsificantes natural: lecitina de soya y convencional: ASFIER 240; teniendo en cuenta el cumplimiento de parámetros de calidad, debido a que las emulsiones ofrecen gran variedad de aplicaciones en distintas técnicas para la conservación y construcción de pavimentos (Ulloa, 2012).

Los tipos de agentes emulsificantes evaluados se elaboraron en escala de laboratorio, debido a que la producción de emulsiones asfálticas en el laboratorio es sencilla y económicamente accesible mediante la utilización de un molino coloidal, estas se sometieron a ensayos para su caracterización con base a un control de parámetros de acuerdo con especificaciones. Las emulsiones tienen muchos factores que afectan sus características en las diferentes etapas de fabricación, almacenamiento, uso y comportamiento (Otiniano, 2016).

El agente emulsificante natural se ha preferido debido a la accesibilidad que tiene en Guatemala mediante las plantas productoras de aceites y su bajo costo en el mercado nacional, además la lecitina es un emulsionante tan versátil que los investigadores constantemente la utilizan en las más variadas aplicaciones industriales (Medina, 2013).

Esto con el fin de disminuir o sustituir el agente emulsificante convencional generalmente tensoactivos en el caso del ASFIER 240 de poliaminas etoxiladas, debido a que estos no son producidos en el país generando un costo alto y al cual requiere de ácido clorhídrico para su activación generando corrosión en su manejo en planta elevando costos de mantenimiento. Hoy en día los sistemas tensoactivos tienen un enorme interés industrial debido a sus múltiples aplicaciones tecnológicas, todos los sectores de la industria química los utilizan en la producción o en la aplicación de sus productos (Sanz, s/f).

1. ANTECEDENTES

En la actualidad los productos asfálticos tienen un gran desarrollo, lo que incluye el uso de nuevas emulsiones asfálticas, en Guatemala se usan en diferentes aplicaciones en construcción y conservación de pavimentos; lo que ha generado su continuo desarrollo, así como diversas investigaciones sobre el tema a nivel nacional e internacional, lo que permite ampliar la variedad de alternativas durante los procesos constructivos en pavimentos.

Tal como expone Montes (2018) realizó el estudio sobre la evaluación en laboratorio de emulsiones imprimantes para un determinado tipo de suelo, en el que se indica que, mediante la metodología de imprimación utilizada, se determinó las características y propiedades de la emulsión de mejor desempeño. La metodología consistió en compactar el suelo en varios moldes Proctor, para luego ser imprimados con las distintas emulsiones, y finalmente determinar la compatibilidad y penetración de cada una.

Por su parte Peláez (2018) realizó el estudio sobre mezclas asfálticas elaboradas con emulsión tipo CSS1H, en el que analizó los cambios físicos, mecánicos y volumétricos en mezclas asfálticas en frío, elaborados con distintos porcentajes de agua y emulsión, que cumplan con una granulometría C2 según las especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos en la sección 403.

El autor hace énfasis, según la referencia anterior, en las condiciones del clima al momento de trabajar en campo con este tipo de mezclas asfálticas, indicando que no es propicio para el rompimiento de la emulsión CSS1-h, la

aplicación del material en carreteras, cuando la temperatura sea de 10 °C o menos, clima lluvioso o cuando la humedad del agregado afecte la calidad y uniformidad de la mezcla.

Hoy en día a nivel internacional la investigación y el desarrollo tecnológico se orientan al estudio y desarrollo de nuevos materiales asfálticos. A continuación, se presentan algunos de los trabajos de investigación realizados sobre el tema el tema de las emulsiones asfálticas y emulsificantes catiónicos.

Además, Gómez (2017) realizó el estudio sobre el uso y aplicaciones de las emulsiones asfálticas, en el que incluye aspectos y conceptos de las emulsiones asfálticas, clasificación, procesos y usos relacionados con el tema, finalmente desarrolló un caso práctico cumpliendo con las especificaciones requeridas. En sus conclusiones indica que la emulsión asfáltica de mayor uso es de la Lechada asfáltica (*Slurry Seal*), debido a la protección, economía y seguridad que brinda, además de la facilidad de la dosificación, mediante cuadros y gráficos.

Por otra parte, Medina (2013) realizó el estudio enfocado en la evaluación del efecto tensoactivo de lecitina natural aplicada en la elaboración de emulsiones farmacéuticas, en el que señala que las emulsiones farmacéuticas de origen sintético han tenido un gran impacto y desarrollo en la industria farmacéutica, ya que ofrecen múltiples beneficios al ser aplicadas en la administración de principios activos.

El trabajo consistió en seleccionar la mejor fuente natural y proceso de extracción, que permita obtener un alto rendimiento de lecitina para utilizarla en la formulación de una emulsión farmacéutica que sea eficaz y de calidad. Utilizando lecitina de soya evaluó las propiedades organolépticas, físicas,

microbiológicas y se determinó mediante análisis químico por el método de Arrhenius, que la formulación con el 8 % de lecitina como agente emulsificante es la adecuada para el sistema propuesto, se determinaron las condiciones de trabajo aplicadas en las pruebas para la elaboración de una emulsión farmacéutica estable.

En cuanto a, Otiniano y Paria (2016) en el estudio sobre el análisis de las propiedades físico-mecánicas presentes en las mezclas asfálticas en frío utilizando emulsiones asfálticas catiónicas y agregados pétreos de la localidad – Nvo. Chimbote – 2015, en el que analizaron las propiedades físico-mecánicas a muestras de mezcla asfáltica en frío, elaboradas con emulsión asfáltica en frío, así como el análisis económico entre mezcla asfáltica en frío con emulsión catiónica y una muestra convencional de mezcla asfáltica en caliente. Para esto realizaron ensayos de laboratorio, así como una investigación de los tipos y aplicaciones de las emulsiones que se encuentran en el mercado y los precios unitarios de los materiales utilizados en las mezclas evaluadas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Emulsión asfáltica

Los asfaltos provienen del refinamiento del crudo de petróleo, el empleado en pavimentación es necesario fluidificarlo (calentándolo, diluyéndolo o emulsionándolo). Las emulsiones tienen muchos factores que afectan sus características en las diferentes etapas de fabricación, almacenamiento, uso y comportamiento. Sobre esto, Cornejo (2014) expone sobre la emulsión asfáltica: “las pequeñas gotas de asfalto se mantienen uniformemente dispersadas en la fase acuosa gracias a la ayuda de un agente emulsificante (surfactante) que al rodear la gota proporciona la repulsión necesaria para conservar la estabilidad” (p. 20).

De acuerdo con Bracho (2005) las emulsiones consisten en: “una dispersión de finas gotas de asfalto, estabilizadas en una fase acuosa, por la presencia de un agente emulsificante, obteniéndose un producto relativamente fluido” (p. 7). Se usan sin adición de calor o de solventes, y pueden ser bombeadas, almacenadas y aplicadas a temperaturas mucho más bajas que con otro tipo de utilización del asfalto.

2.2. Componentes de una emulsión asfáltica

Una emulsión asfáltica consiste en tres ingredientes básicos: Asfalto, agua y un surfactante. En algunas ocasiones, la emulsión puede contener otros aditivos, como estabilizantes, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de

adherencia, o un agente de control de rotura. Los aspectos más importantes, así como las características y/o especificaciones que debe cumplir cada uno de estos componentes en la formulación de la emulsión se detallan a continuación.

2.2.1. Asfalto

Los asfaltos o bitúmenes son materiales utilizados para recubrimiento y reparación de carreteras, son mezclas complejas de hidrocarburos de alto peso molecular, con una notable proporción de heteroátomos (Oxígeno, Azufre, Nitrógeno) y cierta cantidad de metales, tales como Vanadio y Níquel. Sobre esto, Bracho (2005) expone que: “el asfalto es el elemento básico en la preparación de la emulsión, representado por el cemento asfáltico, el cual constituye entre un 50 y un 75 % de la emulsión, algunas de sus propiedades afectan significativamente la emulsión final” (p. 5).

De acuerdo con Bracho (2005), el asfalto es considerado: “un sistema coloidal complejo de hidrocarburos, en el cual es difícil establecer una distinción clara entre la fase continua y la dispersa” (p. 9). Las primeras experiencias para describir su estructura fueron desarrolladas por Nellensteyn en 1924, cuyo modelo fue mejorado más tarde por Pfeiffer y Saal en 1940, en base a limitados procedimientos analíticos disponibles en aquellos años.

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, este provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por los asfáltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfáltenos, denominada maltenos. Las resinas contenidas en los maltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otras maneras insolubles asfáltenos.

Bracho (2005), menciona que: “las características del asfalto dependen esencialmente de las proporciones relativas de sus constituyentes, añade que a mayor proporción de asfaltenos, mayor dureza; por oxidación al aire se pueden transformar las resinas y los maltenos en asfaltenos” (p. 29). Por lo tanto, aumentar la dureza, las características del asfalto se determinan mediante una serie de ensayos estandarizados.

2.2.2. El agua

Los efectos del agua utilizada en las emulsiones no han sido completamente establecidos, esto debido a que el agua contiene impurezas las que a menudo se encuentran en la forma de dispersiones coloidales o en solución y afectan en cierto grado la calidad de la emulsión resultante. Además, el agua puede contener minerales (calcio, magnesio, etc.) u otras sustancias que afectan indeseablemente las propiedades de la emulsión.

En su estudio Romero (2017), señala que: “es necesario caracterizar el agua a usar, especialmente en el caso de la manufactura de emulsiones aniónicas, donde la presencia de sales de calcio y magnesio precipitan los jabones de estos metales” (p. 30). La dureza del agua no es un factor importante en la preparación de una emulsión catiónica. Sin embargo, se debe tener cuidado con la presencia del hierro, ya que ésta es la impureza más perjudicial. El hierro puede estar presente en forma de bicarbonatos, si el agua es de pozo o en forma orgánica o coloidal en las aguas superficiales.

El problema más frecuente de esta impureza lo constituye la corrosión en las líneas de proceso y en los equipos.

Las soluciones para contrarrestar el problema de la dureza del agua según expone Bracho (2005): “generalmente resultan costosas, ya que conducen a la implementación de alguna de estas: a) tratamiento del agua para eliminar dureza, b) variación de concentración o tipo de emulsificante a ser empleado en la formulación de la emulsión” (p. 40).

2.2.3. Agente emulsificante

Sustancias añadidas a una emulsión para prevenir la coalescencia de los glóbulos de bulos de la fase dispersa. El emulsivo se representa por un agente tensoactivo -o surfactante-, que tiene como finalidad mantener las gotitas de asfalto en suspensión estable y controlar el tiempo de rotura.

Existen tres tipos de surfactantes que son clasificados según sus características de disociación en el agua: surfactantes aniónicos, no-iónicos y catiónicos.

Para facilitar la escogencia el surfactante, existe el sistema HLB el cual define el balance hidrofílico y lipofílico del emulsificante, relacionado fuertemente con la solubilidad en la fase acuosa o fase oleosa, cuyo valor no debe diferir en gran medida del valor de las demás sustancias que componen la emulsión.

La emulsión de asfalto es una emulsión del tipo O/W denominado en la industria como aceite en agua por sus siglas en inglés (oil y water), debido a que el asfalto es la fase dispersa se encuentra disperso en el agua que es la fase continua, por ello se usó el emulsificante de lecitina de soya ya que su HBL teórico es de 9 el cual es ideal para ambas emulsiones w/o o o/w así como el carácter anfótero de la lecitina de soya facilita la formación de emulsiones O/W y

W/O. Mientras más alto el HLB tiene más afinidad por el agua, mientras más bajo más afinidad por el aceite.

El agente emulsivo, empleado en combinación con un asfalto aceptable, agua de buena calidad y adecuados procedimientos mecánicos, es el factor principal en la emulsificación, en estabilidad de la emulsión y en el comportamiento de la aplicación final en la carretera, señala Galván (2015):

Hechas las consideraciones anteriores es evidente entonces, que el agua y el asfalto no se mezclan, por lo tanto, es necesario condiciones cuidadosamente controladas, utilizando equipos de alta estabilización y aditivos químicos. Con el objeto de lograr una formulación donde la dispersión sea lo suficientemente estable entre el cemento asfáltico y el agua para ser bombeada, almacenada durante un tiempo prolongado y mezclada. (p. 54)

De acuerdo con el tipo y la cantidad del agente emulsificador empleado, las emulsiones se clasifican en función de su tiempo de quiebre de la siguiente manera:

- Emulsiones de quiebre rápido (CRS): se utilizan normalmente en sellos y tratamientos superficiales.
- Emulsiones de quiebre lento (CSS): se utilizan para riegos de liga, riegos neblina (Fog seal) y lechadas asfálticas (slurry seals). El tipo CSS-1h es una emulsión catiónica de quiebre lento, de color café y estado normal líquido, tiene un residuo asfáltico más duro y de aplicación en frío.

- Emulsiones de quiebre controlado (CQS): se utilizan en lechadas asfálticas y microaglomerados en frío.
- Emulsiones de quiebre medio (CMS).

Teniendo en cuenta la definición de los emulsificantes, se pueden clasificar y hacer referencia según su carácter iónico en:

- Emulsionantes aniónicos
- Emulsionantes catiónicos
- Emulsionantes anfólitos
- Emulsionantes no iónicos

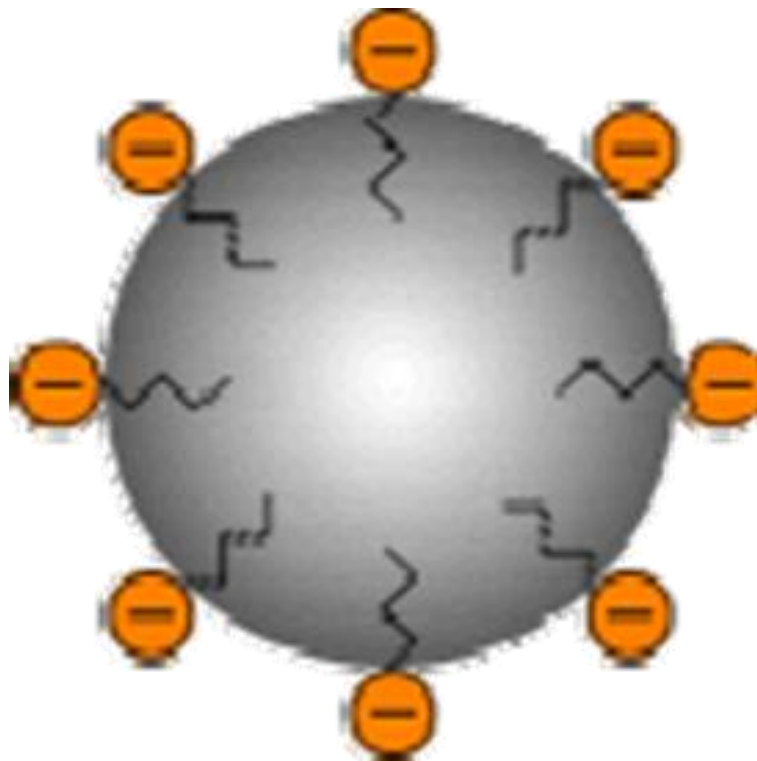
En la fabricación de emulsiones asfálticas los emulsionantes utilizados son los aniónicos y los catiónicos, en la nueva normativa existen las no iónicas. a continuación, se describen las propiedades de los más utilizados, los aniónicos y catiónicos.

- Emulsificantes aniónicos: se trata de tensoactivos que se ionizan en solución acuosa para dar origen a iones orgánicos cargados negativamente, que son los responsables de la actividad superficial. En la Figura 1 se esquematiza la orientación de los glóbulos del ligante. Entre los emulsificantes aniónicos se encuentran:
 - Sales alcalinas de ácidos grasos

- Sales metálicas de ácidos grasos
- Sales de base orgánica y de ácidos grasos
- Los más utilizados son las sales alcalinas de ácidos grasos.

Figura 1.

Orientación del emulsificante en el glóbulo del ligante



Nota. Se presenta la orientación del emulsificante en el glóbulo del ligante. Obtenido de Gómez, J y Gómez Peña, J. (2020). *Análisis comparativo de las propiedades físico –mecánicas de una mezcla asfáltica en frío, elaborado con agregados reciclados y emulsión asfáltica de rotura lenta, en referencia a una mezcla patrón, Cusco 2019.* [Imagen]. (<https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3609>). Consultado el 15 de febrero de 2023.

- Emulsificantes catiónicos: son los tensoactivos que se ionizan en solución acuosa y que originan los iones orgánicos cargados positivamente responsables de la actividad superficial. Los tensoactivos más utilizados son:
 - Alquilaminas
 - Alquilamidoaminas
 - Heterociclos nitrogenados de tipo imidazolina
- Estos reaccionan solos o en asociación y deben estar en forma de sales. Durante la fabricación de la emulsión, los cationes son adsorbidos por los glóbulos asfálticos, la parte lipófila (afinidad por el agua) se vuelve hacia el interior y el radical NH_3^+ se sitúa en la interfase cemento asfáltico / agua. Los aniones permanecen en el agua y los glóbulos de betún están cargados positivamente por la acumulación de grupos NH_3^+ en la periferia. Como lo presenta Delbono (2014): “este hecho asegura, por un lado, la estabilidad de la emulsión, por repulsión electrostática y por otro una buena afinidad del glóbulo de betún frente a las superficies minerales cargadas negativamente” (p. 25).

Se ve que al tomar contacto el ligante asfáltico con el agua y el emulgente en el molino y como consecuencia de la energía entregada en éste, el asfalto se dispersa en forma de glóbulos que son mantenidos estables por la acción del emulsificante, y cuyos diámetros no superan los 25 micrones aproximadamente; la mayoría de ellos son inferiores a 10 micrones.

El tamaño de las partículas de la emulsión es función del emulsificante, de la energía mecánica aplicada en el momento de la fabricación, de la naturaleza y cantidad de ligante y de las condiciones hidrodinámicas en las que se efectúa el proceso de emulsificación. Por su parte Bracho (2005) expone: “de su dispersión dependen directa o indirectamente la estabilidad al almacenamiento, la viscosidad, reactividad y adhesividad, propiedades importantísimas de las emulsiones asfálticas. A mayor concentración de emulsificante menor será el tamaño de las partículas” (p. 54).

Una vez que las partículas están formadas, en el proceso de fabricación, se deberán estabilizar (entre ellas) y evitar coalescerse dentro del molino coloidal y fuera de éste. Sobre esto, Galván (2015) presenta:

El emulsificante adsorbido por las partículas posee una repulsión eléctrica entre ellas (como una barrera). Si esta barrera es vencida, las partículas floculan entre sí produciendo grumos lo cual afecta a la coalescencia. La floculación y la coalescencia pueden ocurrir también por contacto con minerales (etapas importantes en el rompimiento y curado de la emulsión).
(p. 23)

Cuando el glóbulo de asfalto, por la presencia del emulsificante en su superficie, adquiere carga positiva, la emulsión es catiónica (por equipo de electrólisis se puede determinar ya que existe concentración en el electrodo negativo, cátodo).

Si la carga del glóbulo es negativa, se está en presencia de una emulsión aniónica y en el equipo de electrólisis la concentración se producirá en el electrodo positivo, ánodo.

A mayor concentración de emulsificante menor será el tamaño de las partículas. Para esto, Delbono (2014) describe:

Como ejemplo, para formular una emulsión catiónica rápida el porcentaje de emulsificante puede variar entre 0.15 a 0.3 (del porcentaje de ligante) obteniendo un pH entre 2 y 4, si se utiliza una diamina grasa. Para la formulación de una emulsión media, el porcentaje de emulsivo varía entre 0.5 a 0.8, su pH será variable entre 1.5 a 4 utilizando la misma diamina grasa. (p. 42)

2.2.3.1. Rotura de la emulsión

En forma simplificada y sencilla se puede definir que una emulsión rompe, cuando ésta se pone en contacto con un agregado pétreo, iniciándose la separación del asfalto del agua y el recubrimiento del agregado pétreo con una película del mismo. El agua debe entonces, liberarse y finalmente evaporarse.

De acuerdo con Bracho (2005), el tiempo de ruptura de una emulsión asfáltica es: “controlado principalmente por el tipo y cantidad de surfactante utilizado, además del tipo de agregado utilizado para su rompimiento, su composición química y granulométrica, la temperatura y las condiciones

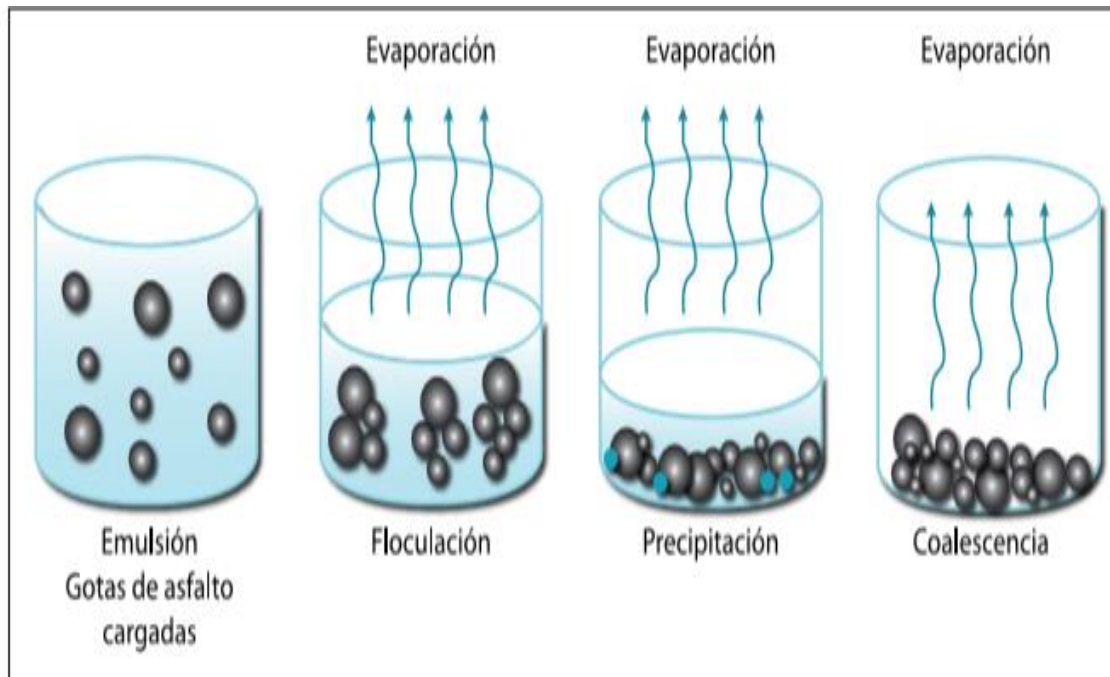
climáticas donde se aplique” (p. 20). De manera general, el tiempo de ruptura en las emulsiones catiónicas es más breve que las aniónicas.

El emulsificante juega un rol fundamental en la velocidad de rotura de las emulsiones, ya que no todas rompen con la misma velocidad. Son fundamentales en este proceso: la composición química y el porcentaje de emulsificante en la dosificación de la emulsión.

En la siguiente figura se esquematiza el proceso. La adsorción de estas partículas de cemento asfáltico conduce a una reacción de heterofloculación sobre la superficie mineral que suele conducir a la rotura.

Figura 2.

Etapas de la rotura en una emulsión asfáltica



Nota. Descripción de las etapas de rotura en una emulsión asfáltica. Ulloa, A. (2012). *Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio.* [Imagen] (<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/13469>), consultado el 16 de febrero de 2023.

La velocidad en el proceso de rotura define la estabilidad a través del tiempo, entendiéndose almacenamiento, manipuleo, transporte y colocación, y la clasificación de las emulsiones. Por todo lo expuesto se puede clasificar a las emulsiones de acuerdo al emulsificante en:

- Emulsiones aniónicas de rotura
 - Rápida

- Media
 - Lenta
- Emulsiones catiónicas de rotura
 - Rápida
 - Media
 - Lenta
 - Superestables
 - De imprimación
- De rotura controlada (especiales)
- Reciclado en frío

El emulsificante no es el único factor que interviene en el rompimiento de la emulsión, pero sí uno de los más importantes. Influyen también el pH de la emulsión, la distribución del tamaño de los glóbulos y la presencia de aditivos. Además, se tienen factores dependientes de los agregados como porcentajes de finos, equivalente arena, grado de humedad, presencia de filler, y factores externos como temperatura y humedad ambiente, vientos fuertes, energía de mezclado, entre otros.

2.2.4. Propiedades básicas de las emulsiones asfálticas

El control de calidad de las emulsiones asfálticas tanto en su fabricación como en su aplicación consiste en una serie de ensayos que se realizan sobre la emulsión para determinar si cumple con las especificaciones requeridas en un uso particular.

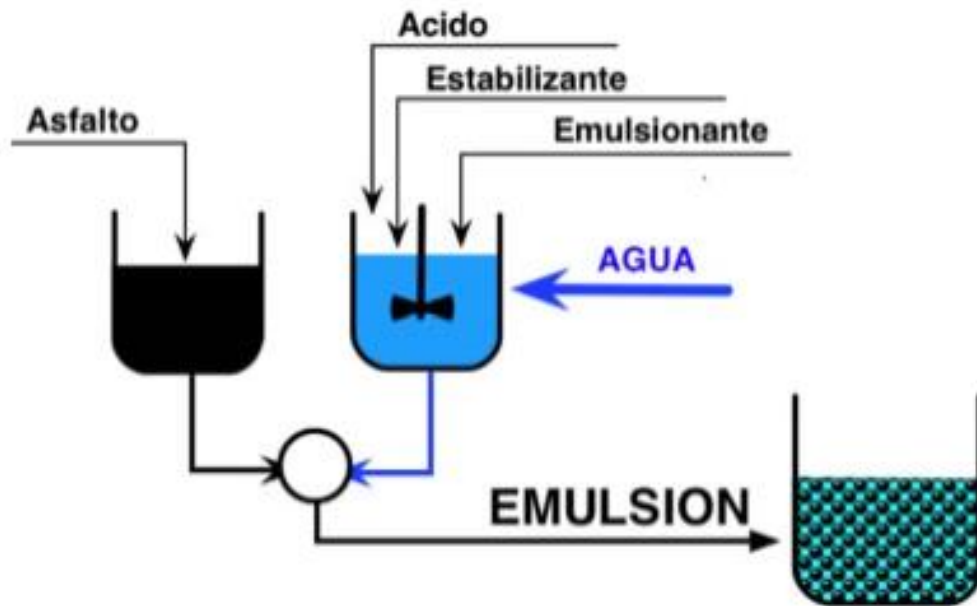
De acuerdo con las condiciones particulares de cada proyecto y debido a la variedad de usos de las emulsiones asfálticas, se les fabrica con distintas viscosidades de cemento asfáltico base y diferentes roturas.

Cada fabricante de emulsiones tiene sus propios procedimientos para incorporar los agentes a la emulsión, una forma de agregar es combinar el agente con el agua antes de mezclar con el asfalto en el molino coloidal, otros pueden combinar el agente con asfalto.

Las emulsiones asfálticas son susceptibles a la temperatura y presión, poseen dos tipos de propiedades: las intrínsecas y las mecánicas que condicionan su comportamiento como ligante en la construcción de pavimentos.

Figura 3.

Proceso industrial de emulsificación



Nota. Descripción del proceso industrial del emulsificante. Ulloa, A. (2012). *Inversión de emulsiones incluyendo acrilatos en la formulación.* [Imagen]. (<https://www.redalyc.org/pdf/5075/507550786004.pdf>), consultado el 16 de febrero de 2023.

2.2.4.1. Propiedades intrínsecas

Son aquellas propiedades internas naturales de la emulsión y son las mismas que presentan cualquier ligante asfáltico: viscosidad, adhesividad y cohesividad, las que condicionan su comportamiento como ligante en la construcción de pavimentos.

- Viscosidad: se entiende como viscosidad a la resistencia que desarrolla un líquido al oponerse a los movimientos de las partículas que lo conforman o se encuentran en su interior.

Esta propiedad resulta de gran interés e importancia al momento de definir una emulsión adecuada para cada tratamiento. Cuando la emulsión es de baja viscosidad se puede utilizar para hacer riegos de imprimación y en gran parte para estabilizaciones de suelo, mientras que, si es de alta viscosidad, será empleada en tratamientos superficiales y en mezclas abiertas, donde se debe garantizar que el material o agregado mineral sea provisto de una película de ligante suficientemente alta en su superficie. La viscosidad es medida en Segundos Saybolt Furol (SFS), según especificaciones y normas norteamericanas A.S.T.M. y A.A.S.H.O.

En una emulsión asfáltica la viscosidad es dependiente de ciertos factores tales como: la temperatura (a mayor temperatura menor viscosidad), el tamaño y granulometría de los glóbulos de asfalto (siendo más viscosa las emulsiones en que las partículas son de tamaño uniforme, a diferencia de las que poseen tamaños bien gradados). Dureza del cemento asfáltico de origen (cementos más duros dan como resultados emulsiones menos viscosas que las procedentes de cementos asfálticos más blandos).

Características del molino utilizando en la dispersión del asfalto en agua; contenido del cemento asfáltico (entre porcentajes de 65 % y 70% la viscosidad crece muy rápidamente); naturaleza y cantidad de emulsificante en la emulsión; contenido de fluidificantes en el asfalto base (al agregarle una pequeña cantidad de fluidificantes en asfaltos duros permite disminuir la viscosidad en la emulsión).

- Adhesividad: la adhesividad que pueda presentar una emulsión asfáltica frente a un agregado o la capacidad de envolver al mismo y mantenerse, está ligado a una serie de factores directamente involucrados con la naturaleza y características del agregado y de la emulsión utilizada, por lo que resulta una de las propiedades más complejas de ser evaluada.

Los factores relacionados con la emulsión que pueda influenciar en la adhesividad alcanzada entre el agregado y la emulsión son: la naturaleza y cantidad del emulsificante en la emulsión, tipo de asfalto de base utilizado y pH de la emulsión (valores de pH próximos a 7 proporcionan mejores adhesividades, pero menores estabilidades de la emulsión, mientras que valores alejados de 7 proporcionan emulsiones más estables, pero adhesividades menores).

En las emulsiones aniónicas, el pH usualmente es superior a 10. En las Catiónicas, inferior a 7; algunas veces puede estar tan bajo como 1,5.

Las emulsiones catiónicas poseen mayor y mejor capacidad de adherencia que las emulsiones aniónicas frente a la gran mayoría de los agregados minerales. En las primeras prevalece la reacción fisicoquímica en contacto con la mayor parte de los agregados, aún con los de neto predominio calcáreo, variando en todo caso la velocidad del proceso de un agregado a otro; será más rápido para un árido silíceo que para uno calcáreo. En las emulsiones aniónicas el proceso principal consiste en la evaporación del agua (excepto que los agregados sean netamente calcáreos, lo cual es muy poco frecuente), por lo tanto, son más dependientes de las condiciones atmosféricas, exhiben una rotura de notable lentitud y baja adherencia.

Las emulsiones presentan una muy buena adhesividad activa (al momento de mezclarse con el agregado), consecuencia lógica de su fluidez y facilidad de mojar los agregados, al mismo tiempo que una buena adhesividad pasiva (capacidad de mantener la unión asfalto – agregado, sin peligro de desplazamiento del ligante, incluso en presencia de agua y tráfico) principalmente en las emulsiones catiónicas, por la presencia de compuesto tensoactivos en su formulación.

- Cohesividad: es la fuerza aglutinante propia de la mezcla para pavimentación.

Por su parte, Vargas-Gutiérrez (2016) explica el concepto de la cohesividad como: “la resistencia a la rotura en masa de un ligante. Pero va aumentando a medida que se va eliminando el agua, de modo que al cabo de un tiempo breve llega a alcanzar la del asfalto base” (p. 32).

Lo anterior tiene un principio lógico, ya que al colocar la emulsión en contacto con los agregados pétreos se comienza a separar la fase dispersada de su medio continuo; el agua se evapora y se acercan los glóbulos de asfalto cuando vencen la fuerza de rechazo electrostática existente inicialmente entre ellos por la presencia del emulsificante, produciendo un verdadero cemento entre la película residual de asfalto y el agregado, que en masa se traduce a cohesión, aportando la misma cohesión que la del asfalto base.

2.2.4.2. Propiedades mecánicas

Son aquellas propiedades que condicionan su comportamiento y ofrecen una manera de clasificación, se incluyen las siguientes:

- Estabilidad en el almacenamiento
- Espumas
- Natas
- Sedimentos

- Mezcla entre emulsiones
- Aditivos
- Temperatura
- Estabilidad de la emulsión ante los agregados
- Características del residuo asfáltico

2.3. Tensoactivos catiónicos

Los productos surfactantes llamados también tensoactivos, son sustancias compuestas por moléculas anfifílicas, su característica básica es la capacidad de modificar la tensión superficial de la superficie de los líquidos a los que se añaden; están formados por la unión de un tensoactivo catiónico y otro aniónico que actúa como contra ion. Se les utiliza como emulsionantes-dispersantes de asfalto, pinturas asfálticas, tintas, pigmentos, pulpa de papel, desechos magnéticos, entre otros.

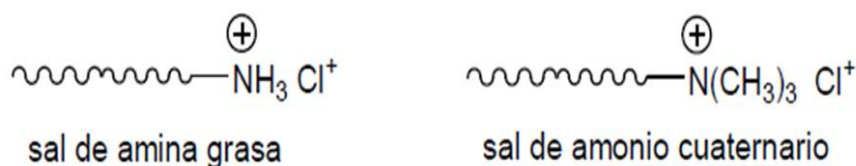
Por otra parte, Ortega (2009), señala que: “de acuerdo con la carga eléctrica que pueden presentar, los agentes tensoactivos se pueden clasificar de la siguiente manera: aniónicos, catiónicos, no iónicos, anfotericos y cataniónicos” (p. 23).

Los surfactantes catiónicos de cadena lineal más utilizados son las aminas grasas, sus sales y sus derivados cuaternarios. Las aminas grasas se utilizan como emulsionantes-dispersantes de emulsiones asfálticas y en pinturas.

Los tensoactivos catiónicos representan un 4 % del total de la producción de agentes tensoactivos. Su fabricación es mucho más cara que la de los anteriores y es por esta razón que sólo se utilizan en aplicaciones especiales. La gran mayoría de estos son compuestos nitrogenados del tipo sal de amina grasa o sal de amonio cuaternario (Sanz, 2012).

Figura 4.

Sal de amina grasa y sal de amonio cuaternario

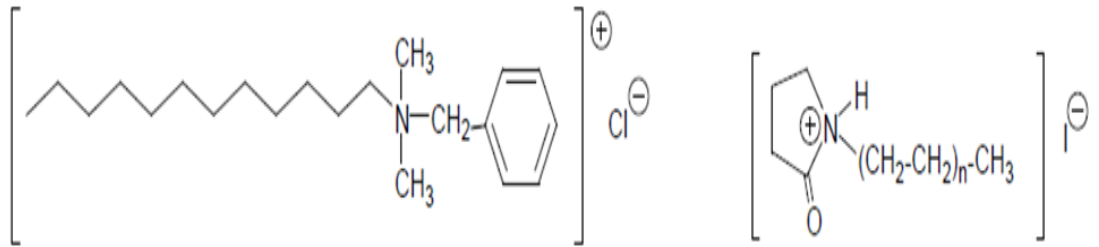


Nota. Descripción de la diferencia entre sal de amiga grasa y sal de amonio cuaternario. Sanz, A. (2012). *La industria de los agentes tensoactivos.* [Imagen]. (<https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-10.php>), consultado del 16 de febrero de 2023.

Como explica Ortega (2009): “debido a sus propiedades fisicoquímicas, las sustancias surfactantes pueden usarse como detergentes, emulsionantes, espesantes o viscosantes, espumantes o antiespumantes, humectantes, estabilizantes, encapsulantes y lubricantes entre muchas otras aplicaciones” (p. 4).

Figura 5.

Tensoactivos catiónicos



Nota. Descripción de los tensoactivos catiónicos. Sanz, A. (2012). *La industria de los agentes tensoactivos*. [Imagen]. (<https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-10.php>), consultado el 16 de febrero de 2023.

Además, Sanz (2013) expresa que la cadena hidrocarbonada de los tensoactivos catiónicos: “se obtiene a partir de los ácidos grasos. Estos se transforman en nitrilos por tratamiento con amoníaco a 200-300 °C, y posteriormente se hidrogenan a las aminas primarias correspondientes. Estas se someten a metilación con cloruro de metilo en exceso” (p. 32).

En la actualidad la mayoría de los tensoactivos provienen de fuentes petroquímicas, debido a aspectos biotecnológicos y ambientales los surfactantes naturales cada vez despiertan más interés, debido a su utilidad y el amplio rango de aplicaciones.

Tabla 1.

Principales tipos de tensoactivos

Clase	Nombre Común	Acrónimo
Tensioactivos aniónicos	Lineal alquilbenceno sulfonatos	LAS
	Alcanos sulfonatos secundarios	SAS
	Alcoholes éter sulfatos (alquil etoxisulfatos)	AES
	Alcoholes sulfatos (alquil sulfatos)	AS
Tensioactivos no-iónicos	Alquilfenoles etoxilados	APE o APEO
	Nonilfenoles etoxilados	NPE o NPEO
	Octilfenoles etoxilados	OPE u OPEO
	Alcoholes etoxilados	AE o AEO
Tensioactivos catiónicos	Sales de amonio cuaternario	QAC
	Haluros de alquil trimetil amonio	TMAC
	Haluros de alquil dimetil amonio	DMAC
	Haluros de alquil bencil dimetil amonio	BDMAC
	Haluros de dialquil dimetil amonio	DADMAC
	Cloruro de bi(alquil grasa hidrogenada) dimetil amonio	DTDMAC
	Cloruro de dietil éster dimetil amonio	DEEDMAC

Nota. Descripción de los principales tensoactivos. Rios, F. (2014). *Comportamiento ambiental de tensoactivos comerciales: biodegradabilidad, toxicidad y ozonización.* [Imagen]. (<https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/42048/24452968.pdf?sequence=1&isAllowed=y>), consultado el 16 de febrero de 2023.

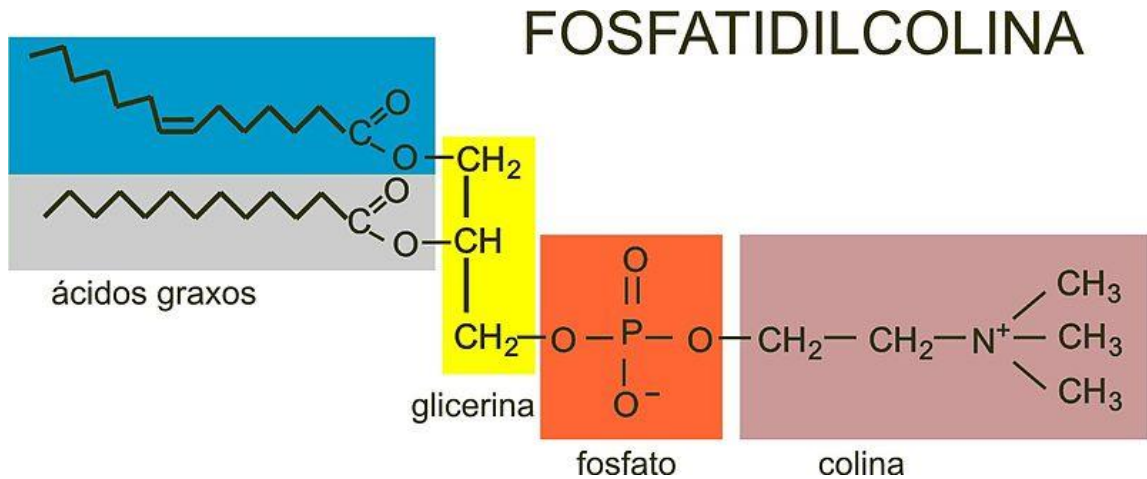
2.4. Lecitina de soya

La lecitina de soya es un emulsificante natural utilizado como agente humectante, dispersante, lubricante, modificador de viscosidad, entre otros. En la actualidad la lecitina tiene una gran variedad de aplicaciones técnicas, entre las que se incluyen detergentes, pinturas y barnices, productos del petróleo crudo, materiales sintéticos, caucho, papel, adhesivos, explosivos, productos fitosanitarios y materiales de construcción.

La característica química más importante de la lecitina es su poder emulsionante. Las moléculas de fosfolípidos poseen una parte polar hidrofílica y otra apolar lipofílica, responsable por el poder de reducción de la tensión interfacial entre una mezcla aceite/agua.

Figura 6.

Estructura de la lecitina



Nota. Descripción de la estructura de la lecitina. Fering, M. (2012). *Fosfatidilcolina*. [Imagen]. (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fosfatidilcolina_miguelferig.jpg), consultado el 16 de febrero de 2023.

Por otra parte, el autor expresa sobre la hidrólisis de la lecitina Hernández (2019):

De la hidrólisis de la lecitina muy purificada se obtienen por lo menos cinco ácidos grasos diferentes, se está tratando con una mezcla de compuestos en lugar de uno solo. Técnicamente, debería emplearse el plural lecitinas en lugar del nombre singular. Sin embargo, la mayoría de los autores prefieren referirse a estos compuestos como lecitina. La lecitina pura es un sólido ceroso de color blanco que de inmediato se ennegrece cuando se expone al aire. (p. 4)

Adición de HCl: debido a que el emulsificante es una mezcla de aminas de cadena larga y una resina alquídica, por lo que es de tipo catiónica y se encuentra saturada, solo al menos alrededor del 30 % de la lecitina de soya contiene etanolaminas saturadas. Por lo cual se tendría que agregar HCl para así neutralizar la etanolamina.

- Fosfolípidos: son diglicéridos de ácidos grasos, con el tercer OH esterificado con un grupo fosfato. Son los componentes estructurales de las membranas. Los fosfolípidos se dividen en: Fosfoglicéridos (el alcohol es glicerol, un alcohol de cadena corta) y Esfingolípidos (el alcohol es esfingosina, un alcohol de cadena larga).

La lecitina es un emulsionante que se obtiene de fuentes vegetales (soya) está compuesta por varios fosfolípidos, a menudo las que se usan como emulsionantes también contienen mezclas de fosfolípidos. Además, Hernández (2019), señala que: “la lecitina es el más común de los fosfolípidos. Contiene la importante sal de amonio cuaternaria, colina, unida a un residuo de ácido fosfórico mediante un enlace éster” (p. 23). El nitrógeno de la colina posee carga positiva y el fosfato, negativa, de modo que, en solución, a casi todos los valores de pH, la lecitina existe como sal interna o ion interno (zwitterion).

- Fosfoglicéridos: los más abundantes son: la fosfatidilserina, la lecitina o fosfatidilcolina y la cefalina o fosfatidiletanolamina, moléculas especialmente abundantes en las membranas de las células eucariotas.

Los fosfoglicéridos son un grupo de lípidos que contiene un grupo fosfato. Como expone Hernández (2019): “están localizados principalmente en las membranas celulares de los animales” (p. 25). Los fosfoglicéridos se parecen a

los triacilglicéridos en los dos primeros átomos de carbono del glicerol; en estas posiciones hay dos ésteres de ácidos grasos, y se diferencian en el tercer átomo de carbono donde hay un éster de fosfato. También unido al grupo fosfato hay un segundo alcohol.

- Fosfatidilcolina (lecitina): es un extracto derivado de la lecitina de soya presente naturalmente y en abundancia en las membranas celulares, conocido también como un emulsionante natural de las grasas, que impide al colesterol que se deposite en las arterias. La fosfatidilcolina ha sido estudiada en las últimas décadas con diversos fines.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación, se enlistan las variables dependientes e independientes por medio de las cuales se realizó el análisis fisicoquímico de la lecitina de soya para su uso en emulsificante.

3.1.1. Variables independientes

- Temperatura (°C)
- Porcentaje de emulsificante (%)

3.1.2. Variables dependientes

- pH
- Carga (+/-)
- Viscosidad cinemática (cSt)
- Viscosidad dinámica (cP)
- Longitud de elongación (cm)
- Penetración

- Punto de ablandamiento
- Retenido en malla (%)

3.2. Delimitación del campo de estudio

El procedimiento experimental fue realizado en el laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería, ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se utilizó como principio activo las emulsiones. El proceso experimental fue:

- Formulación de emulsión asfáltica
- Las condiciones ambientales para la realización del proceso experimental son a una temperatura estándar estable de 20°C.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Ana Gabriela Valdes Argueta
- Asesor: Ing. Cesar Alfonso García
- Co-asesor: Ing. José Juan Istupe Ibanez

3.4. Recursos materiales disponibles

A continuación, se presentan los materiales empleados en la realización de la fase experimental:

3.4.1. Equipo

El equipo utilizado en el estudio fue el siguiente:

- Dispositivo que proporcione una corriente eléctrica directa de 12 voltios, provisto de resistencia variable y un miliamperímetro.
- Electrodo formado cada uno por una placa de acero inoxidable de 101.6 mm por 25.4 mm y 3 mm de espesor. Los electrodos estarán aislados entre sí y sostenidos paralela y rígidamente a una distancia de 12,7 mm (1/2 pulgada).
- Cronómetro
- Molino coloidal
- Pinza
- Celda de calentamiento
- Horno de calentamiento
- Aparato de copa abierta Cleveland

- Potenciómetro de carga
- Tamiz circular U.S. estándar con diámetro de 7.6 cm, de abertura cuadrada de 0.845 mm, (no. 20) con su fondo y tapa.

Figura 7.

Equipo de laboratorio utilizado



Nota. Se presenta el equipo de laboratorio utilizado para el estudio. Elaboración propia.

3.4.2. Cristalería

La cristalería utilizada en el estudio fue la siguiente:

- Vaso precipitado de vidrio, con capacidad 150 ml
- Pipeta de vidrio de 60 ml de capacidad
- Probetas de 500ml con tapón de corcho o vidrio y con diámetro exterior (5 + 0.5) cm.
- Beacker

Figura 8.

Cristalería utilizada



Nota. Se presenta la cristalería utilizada para el estudio. Elaboración propia.

3.4.3. Reactivo

Los reactivos utilizados en el estudio fueron los siguientes:

- ASFIER 240
- Lecitina de soya
- Glicerina
- HCl
- Cemento asfáltico AC30
- Goma Xantana

3.5. Recolección y ordenamiento de la información

Para el proceso de diseño y análisis de las emulsiones, es necesario contar con formatos especiales para el registro de la información, se incluyen tablas para la tabulación de datos, listas de verificación, cronograma de actividades, entre otros, que permitan de manera organizada el fácil desarrollo de las actividades a realizar.

Para recolección de información se utilizaron los siguientes formatos:

Tabla 2.*Formatos para la recolección de información*

Fecha de producción				
pH solución				
Temperatura de la emulsión °C				
Temperatura del asfalto °C				
Temperatura del aceite °C				
pH emulsión				
Prueba de visualización				
Prueba de tamizado				
Peso de tamiz (g)				
Peso recipiente y emulsión (g)				
Peso del recipiente (g)				
Peso del tamiz seco (g)				
Peso de retenido en malla (g)				
Prueba de asentamiento 24H				
	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Porcentaje destilado (%)	Porcentaje masa (%)
Fondo				
Superficie				
Resultado				
Prueba de asentamiento 5 días				
	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Porcentaje destilado (%)	Porcentaje masa (%)
Fondo				
Superficie				
Resultado				

Nota. Descripción de los formatos utilizados. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.5.1. Diagrama de flujo de procedimiento de rutina

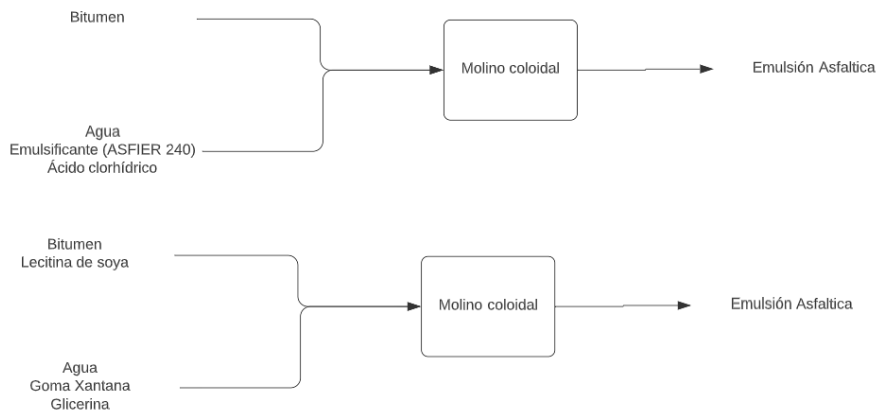
Para formular una emulsión asfáltica se requiere:

- Proporcionar energía mecánica (mezcla y agitación) para dispersar la fase hidrófoba (el asfalto).
- Adicionar un emulsificante (tensoactivo) que establezca la dispersión asfáltica en la fase dispersante (agua) por el tiempo requerido.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo para la descripción gráfica del procedimiento de rutina.

Figura 9.

Diagrama de flujo procedimiento de rutina



Nota. Se el diagrama de flujo para el procedimeinto de rutina. Elaboración propia, realizado con Visio.

3.6. Diseño de las emulsiones

De acuerdo con lo establecido se realizó el diseño de emulsiones directa L/H del tipo CSS1-h, con diferentes porcentajes de lecitina de soya y una emulsión con agente comercial ASFIER, con el propósito de realizar un análisis comparativo entre ellas.

Figura 10.

Diseño de emulsión asfáltica en laboratorio



Nota. Se presenta el diseño de emulsión asfáltica realizado en laboratorio. Elaboración propia.

3.7. Evaluación de cementos asfálticos

De acuerdo con lo establecido se realizó la evaluación de los cementos asfálticos a base de Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta (CSS-1h), elaboradas con una emulsión con agente comercial ASFIER y lecitina de soya.

Tabla 3.

Ensayos a cementos asfálticos y norma aplicable

Ensayo	Descripción	Norma
Penetración	Se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro(mm/10), hasta la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente el ensayo se realiza a 25° C (77° F) durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g.	ASTM D-5
Punto de ablandamiento	Dos discos horizontales de material bituminoso, fundidos entre anillos de bronce, se calientan a una tasa controlada en un baño líquido, mientras cada uno de ellos soporta una bola de acero. El punto de ablandamiento se considera como el valor promedio de las temperaturas, a la cuales los dos discos se ablandan lo suficiente para permitir que cada bola envuelta en material bituminoso caiga desde una distancia de 25 mm (1").	ASTM D-36
Viscosidad dinámica	El ensayo determina el estado de fluidez del asfalto, en el rango de temperaturas que se usan durante su aplicación.	ASTM D-4402
Ductilidad	El procedimiento consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, definiéndose la ductilidad como la longitud máxima, en cm, que se estira la probeta hasta el instante de la rotura.	ASTM D-113

Nota. Descripción de los ensayos a cementos asfálticos y norma aplicable de cada uno. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 4.*Ensayos a emulsión asfáltica y norma aplicable*

Ensayo	Descripción	Norma
Visualización y pH	Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación del valor del pH de la fase acuosa de las emulsiones asfálticas.	ASTM D-224.
Asentamiento 24 H	Determina un índice de la tendencia de las gotas de asfalto (fase hidrófoba) al depositarse durante el almacenamiento prolongado de la emulsión.	ASTM D-6930
Tiempo de rompimiento	Mide la velocidad de rotura de una emulsión en condiciones normalizadas. El índice de rotura se expresa como una relación entre la cantidad de relleno añadido y la cantidad de emulsión ensayada.	ASTM D-244
Tamizado malla # 20	Es una medida de calidad y estabilidad de la emulsión. Una muestra de emulsión se hace pasar a través de un tamiz de 850 ml (Nº 20) y se mide la cantidad de partículas de asfalto u otros materiales retenidos.	ASTM D-244
Carga de partículas	Determina si una emulsión es del tipo aniónica o catiónica, basándose en la carga eléctrica que posean los glóbulos de asfalto.	ASTM D-244
Viscosidad Saybolt Furol.	La viscosidad es la resistencia al flujo de los fluidos y es una propiedad que afecta la trabajabilidad de la emulsión, se mide con el viscosímetro de Saybolt Furol. El resultado de ensayo se reporta en segundos, el ensayo se realiza a dos temperaturas: 25 °C y 50 °C.	ASTM D-244

Nota. Descripción de los ensayos a emulsión asfáltica y norma aplicable de cada uno. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los ensayos de laboratorio a las muestras se realizaron en la Sección de Mecánica de Suelos y Pavimentos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, con el objetivo de determinar si cumplen con las especificaciones.

Tabla 5.

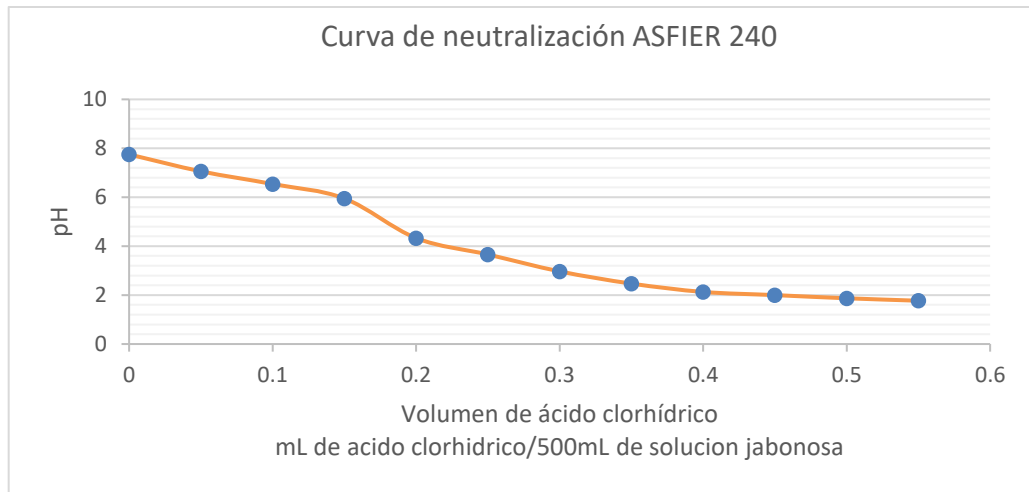
Curva de neutralización ASFIER 240

Ácido clorhídrico (mL)	pH
0	7.75
0.05	7.06
0.1	6.54
0.15	5.95
0.2	4.33
0.25	3.66
0.3	2.97
0.35	2.47
0.4	2.13
0.45	2
0.5	1.87
0.55	1.77

Nota. Descripción de la curva de neutralización del ASFIER 240. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 11.

Curva de neutralización ASFIER 240



Nota. Descripción de la curva de neutralización del ASFIER 240. Elaboración propia.

Figura 12.

Ensayo de laboratorio, cemento asfáltico



Nota. Ensayo realizado en el laboratorio para el cemento asfáltico. Elaboración propia.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Se realizará análisis estadístico y gráficas para visualizar el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de las emulsiones asfálticas.

3.9. Análisis estadístico

Se presenta el análisis estadístico realizado a los resultados obtenidos del estudio.

3.9.1. Determinación de corridas a realizar

Para determinar la precisión y confiabilidad de los resultados se procede a calcular el número de datos que se deben tomar, para alcanzar los objetivos y así cumplir con un intervalo significativo de confianza. Se utilizó una probabilidad de éxito del 95 %, por lo que la probabilidad de fracaso es 5 %, el valor estadístico de la curva normal para estos valores es de 1.96.

Para determinar el número de corridas se procede a utilizar la ecuación:

$$n = \frac{z^2 pq}{e^2}$$

Dónde:

n= número de corridas

z= valor estadístico de la curva normal de frecuencias

p= probabilidad de éxito

q= probabilidad de fracaso

e= porcentaje de error esperado

$$n = \frac{(1.96)^2(0.95)(0.05)}{(0.25)^2}$$

$$n = 2.91 \approx 3$$

El número de corridas a realizar es de 3.

3.9.2. Media

Determina el valor promedio dentro de un conjunto finito de datos, se calcula a través de la siguiente expresión:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

La media brinda una idea de la focalización del conjunto de datos de un fenómeno de estudio.

3.9.3. Desviación estándar

Cuantifica el rango de dispersión de un conjunto de datos en base a la media o promedio:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

3.10. Plan de análisis de datos

Debido a que la variable independiente es el agente emulsificante, se espera que en función de ella varíen los resultados de los análisis físico-mecánicos que se realizaran.

3.10.1. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

Los resultados se analizarán de forma gráfica, económica y estadísticamente para evaluar el comportamiento de los agentes emulsificantes utilizados y su eficiencia en las propiedades físico-mecánicas de estos.

3.10.2. Programas a utilizar para análisis de datos

Durante la elaboración de la parte descriptiva de los datos, así como el análisis de los resultados se utilizó el paquete Microsoft Word. Como herramienta matemática para tabular y calcular se usará el software Excel de Microsoft Office.

4. RESULTADOS

4.1. Generalidades

A continuación, se presentan los resultados del diseño y evaluación de las emulsiones y cementos asfálticos evaluados. De acuerdo con lo establecido en la metodología, se realizaron tres corridas de cada ensayo por parámetro a cada muestra evaluada.

4.2. Emulsiones

Las emulsiones asfálticas se pueden usar para diversas aplicaciones en la construcción, dependiendo si contienen o no agregados, como se indica a continuación:

- Sin agregados: riegos, tratamientos y sellado
- Con agregados: tratamientos superficiales, tratamientos antifisuras, lechadas o slurrys, reciclados y mezclas en frío.

Debido a la variedad de usos de las emulsiones asfálticas, se les fabrica con distintas viscosidades de cemento asfáltico base y diferentes roturas, diferentes emulsificadores y aditivos son utilizados para variar las dosificaciones de manera de ajustar una emulsión a una aplicación específica.

La emulsión CSS-1H se utiliza para preparar mezclas especiales, como el mortero asfáltico (Slurry Seal), con la adición de polímeros a esta emulsión, se produce el Micropavimento (Microsurfacing).

Se prepararon emulsiones CSS-1H, utilizando como agentes emulsificantes un agente comercial ASFIER 240 y lecitina de soya con tres porcentajes p/p diferentes (14 %, 15 % y 16 %). El objetivo primordial al preparar una emulsión es producir gotas de asfalto de un tamaño lo suficientemente pequeño que puedan mantenerse en una suspensión acuosa y poder controlar el tiempo de rompimiento.

De acuerdo con los resultados, las emulsiones evaluadas se clasifican de la siguiente manera:

- Por su polaridad: emulsión catiónica producida utilizando emulsificadores cargados positivamente.
- Por la velocidad de rotura: SS de rotura lenta

4.3. Pruebas para el cemento asfáltico a las diferentes concentraciones de LS

Se prepararon 4 cementos asfálticos AC 30 en diferentes porcentajes identificadas 0 % LS, 14 % LS, 15 % LS y 16 % LS, los que se analizaron en laboratorio con el objetivo de establecer si existen cambios en las propiedades mecánicas del cemento asfáltico AC 30 con lecitina de soya.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de cada parámetro, incluyendo los cálculos de los valores promedio y desviación estándar.

4.3.1. Ductilidad 25 °C, 5cm/min, (cm)

El procedimiento consiste en generar una probeta de cemento asfáltico con las diferentes concentraciones de LS y someter está a un ensayo de tracción, en condiciones de 25 ° C y una velocidad de 5cm/min, en un baño de agua de igual densidad, definiéndose la ductilidad como la longitud máxima, medida en cm, que se estira la probeta hasta el instante de la rotura.

Tabla 6.

Resultados ensayo Ductilidad 25 °C, 5cm/min, (cm)

Muestra	Ensayo No.	Resultados ensayo	Análisis estadístico
			Promedio
0 % LS	1	> 100	> 100
14 % LS	1	> 100	> 100
15 % LS	1	> 100	> 100
16 % LS	1	> 100	> 100

Nota. Descripción de los resultados del ensayo de ductilidad realizado. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.3.2. Viscosidad dinámica 135 °C (cPs)

El ensayo determina el estado de fluidez del asfalto, en el rango de temperaturas que se usan durante su aplicación, para este ensayo se empleó un viscosímetro de rotación que determina la fuerza requerida para rotar un disco en un fluido a una velocidad conocida.

Este cuenta con un baño calibrado a una temperatura de 135 °C, donde se ingresa la probeta de cemento asfáltico a las diferentes concentraciones de LS, obteniendo resultados en Centipoise (cPs)

Tabla 7.

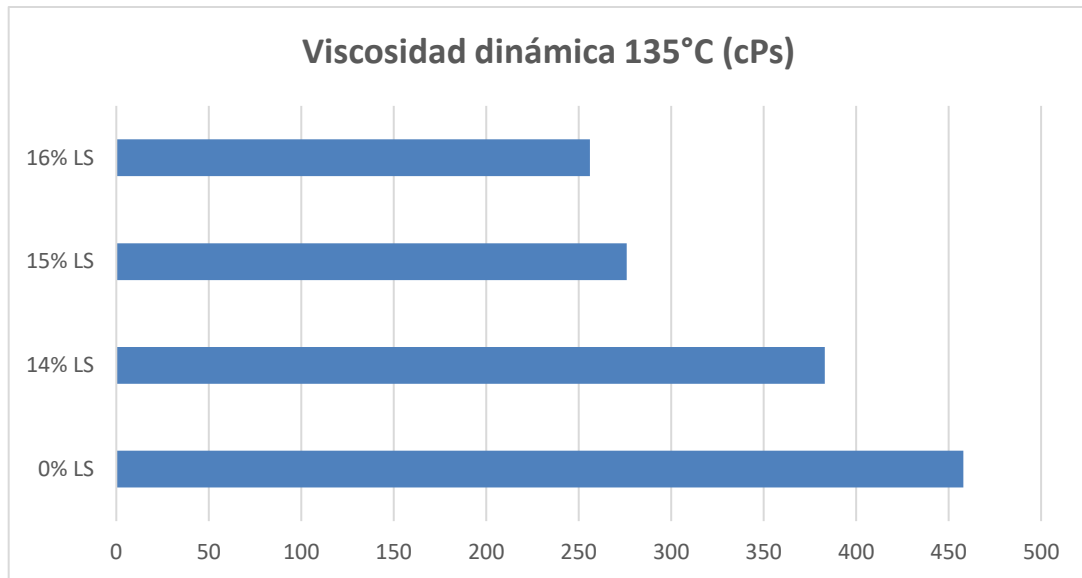
Resultados ensayo viscosidad dinámica 135 °C (cPs)

Muestra	Ensayo No.	Resultados ensayo	Análisis estadístico	
			Promedio	Desviación estándar
0% LS	1	459	458	1.73
	2	456		
	3	459		
14% LS	1	280	283	2.65
	2	284		
	3	285		
15% LS	1	273	276	2.65
	2	278		
	3	277		
16% LS	1	256	256	1.00
	2	255		
	3	257		

Nota. Descripción de los resultados del ensayo de viscosidad dinámica 135 °C (cPs). Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 13.

Resultados ensayo viscosidad dinámica 135 °C (cPs)



Nota. Descripción de los resultados del ensayo de viscosidad dinámica 135 °C (cPs). Elaboración propia, realizado con Excel.

4.3.3. Punto de ablandamiento (bola-anillo) (5°C/minuto)

Dos discos horizontales de cemento asfáltico a las diferentes concentraciones de LS, se calientan a una tasa controlada en un baño líquido, mientras cada uno de ellos soporta una bola de acero.

El punto de ablandamiento se considera como el valor promedio de las temperaturas, a la cuales los dos discos se ablandan lo suficiente para permitir que cada bola envuelta en cemento asfáltico caiga desde una distancia de 25 mm (1").

Tabla 8.

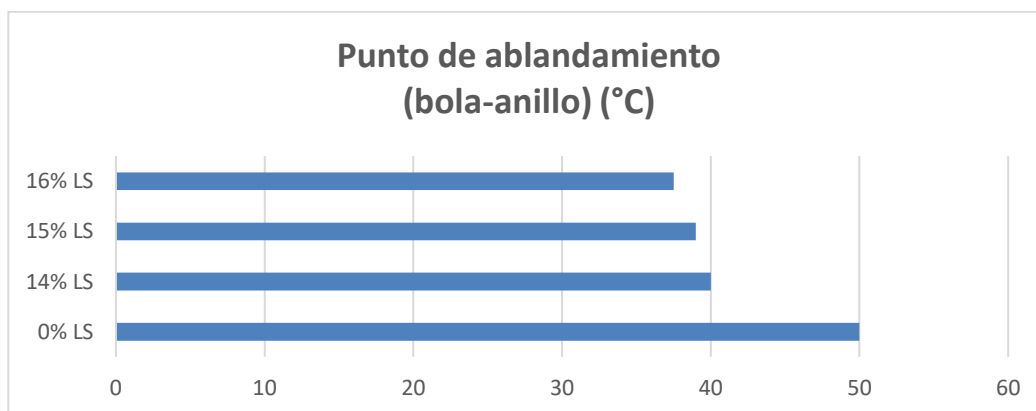
Resultados ensayo Punto de ablandamiento (bola-anillo) (°C)

Muestra	Ensayo No.	Resultados ensayo	Análisis estadístico	
			Promedio	Desviación estándar
0% LS	1	50.0	50.0	0
	2	50.0		
	3	50.0		
14% LS	1	39.5	40.0	0.87
	2	41.0		
	3	39.5		
15% LS	1	38.5	39.0	0.50
	2	39.0		
	3	39.5		
16% LS	1	38.0	37.5	0.50
	2	37.5		
	3	37.0		

Nota. Descripción de los resultados del ensayo de Punto de ablandamiento (bola-anillo) (°C).
Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 14.

Resultados ensayo Punto de ablandamiento (bola-anillo) (°C)



Nota. Descripción de los resultados del ensayo de Punto de ablandamiento (bola-anillo) (°C).
Elaboración propia, realizado con Excel.

4.3.4. Penetración 25 °C, mm/10

Se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro(mm/10), hasta la cual una aguja normalizada penetra verticalmente en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Consiste en realizar el ensayo a una temperatura de 25 °C, se apoya una aguja normalizada de 100 g sobre la muestra de cemento asfáltico durante 5 segundos para medir la penetración de la aguja en la muestra en unidades de 0.1mm.

Tabla 9.

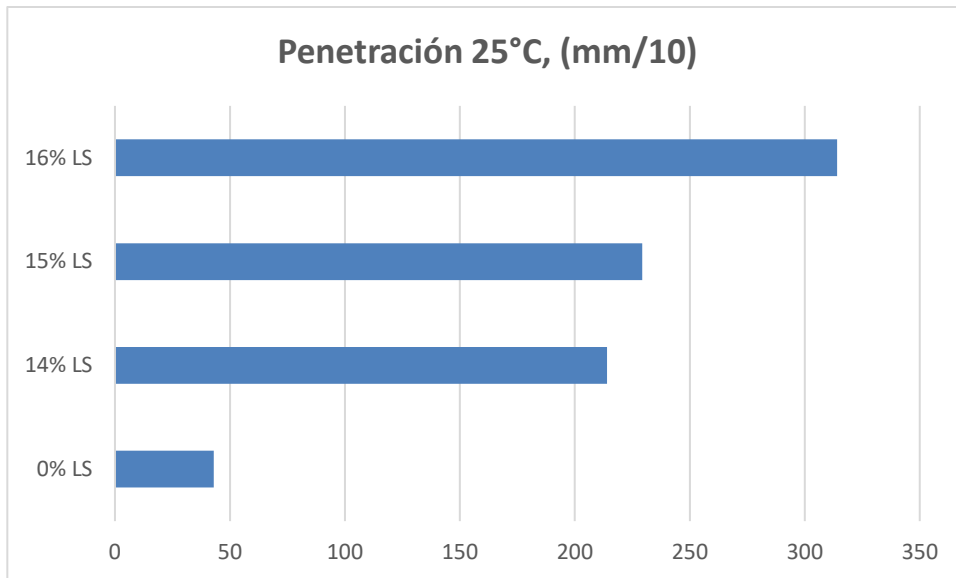
Resultados ensayo Penetración 25 °C (mm/10)

Muestra	Ensayo No.	Resultados ensayo	Análisis estadístico	
			Promedio	Desviación estándar
0% LS	1	43.1	43.0	0.11
	2	43.0		
	3	42.9		
14% LS	1	212.0	214.0	1.73
	2	215.0		
	3	215.0		
15% LS	1	230.0	229.3	1.16
	2	230.0		
	3	228.0		
16% LS	1	312.0	314.0	2.00
	2	316.0		
	3	314.0		

Nota. Descripción de los resultados del ensayo de Penetración 25 °C (mm/10). Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 15.

Resultados ensayo Penetración 25 °C (mm/10)



Nota. Descripción de los resultados del ensayo de Penetración 25 °C (mm/10). Elaboración propia, realizado con Excel.

4.4. Pruebas para cementos asfálticos AC 30 emulsificado con ASFIER 240 y a las diferentes concentraciones de LS

Se prepararon 4 cementos asfálticos AC 30 emulsificados con ASFIER 240, 14 % LS, 15 % LS y 16 % LS. Para la mezcla con ASFIER 240 se agregó ácido clorhídrico según la curva de neutralización brindada por el fabricante, en el caso de la mezcla con lecitina de soya se agregó glicerina y goma de xantana debido a que proveen viscosidad a la emulsión volviendo a esta más estable y con una consistencia de crema.

Estos se analizaron en el laboratorio con el objetivo de establecer si existen cambios en las propiedades mecánicas del cemento asfáltico AC 30 emulsificado con ASFIER 240 y lecitina de soya a diferentes concentraciones.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de cada parámetro, incluyendo los cálculos de los valores promedio y desviación estándar.

4.4.1. pH

Se utilizó un potenciómetro que permitiera medir el potencial de hidrógeno presenten en cada una de las emulsiones con ASFIER 240 y lecitina de soya a diferentes concentraciones.

Tabla 10.

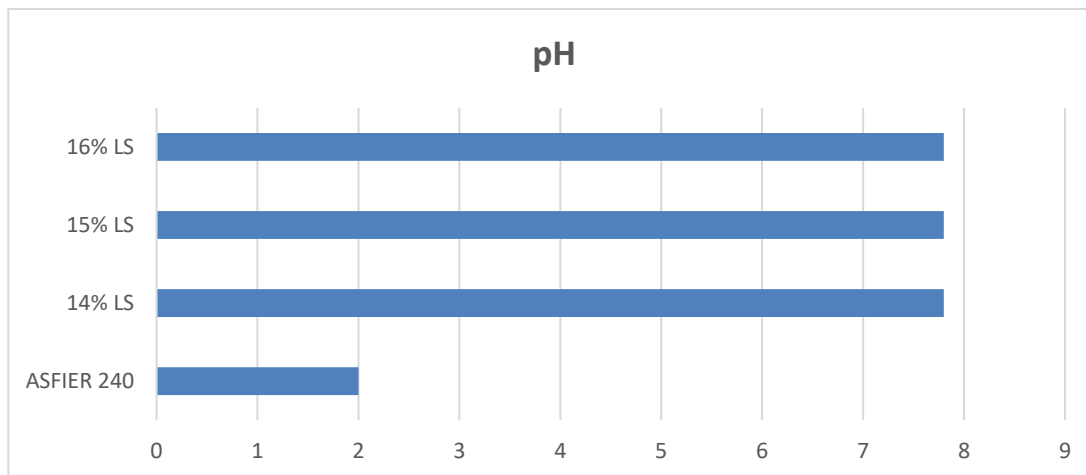
Resultados ensayo pH

Muestra	Ensayo No.	Resultados ensayo	Análisis estadístico	
			Promedio	Desviación estándar
ASFIER 240	1	1.9	2.0	0.10
	2	2.1		
	3	2.0		
14% LS	1	7.6	7.8	0.15
	2	7.8		
	3	7.9		
15% LS	1	7.9	7.8	0.21
	2	7.6		
	3	8.0		
16% LS	1	8.0	7.8	0.23
	2	7.6		
	3	8.0		

Nota. Descripción de los resultados del ensayo de ph. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 16.

Resultados ensayo pH



Nota. Descripción de los resultados del ensayo de ph. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.4.2. Asentamiento 24 horas

En este ensayo se pretende medir la tendencia de las micelas a sedimentarse después de transcurridas 24 horas. Para esto se cuenta con una probeta de 500 ml que contiene cada emulsión asfáltica y al transcurrir 24 horas se mide dentro de los 50 ml de la parte superior e inferior de la probeta el porcentaje de asfalto presente.

Al obtener estos datos de la parte superior e inferior para determinar el resultado del ensayo se debe sumar el porcentaje de asfalto del fondo y restar el porcentaje de asfalto de la superficie.

Tabla 11.

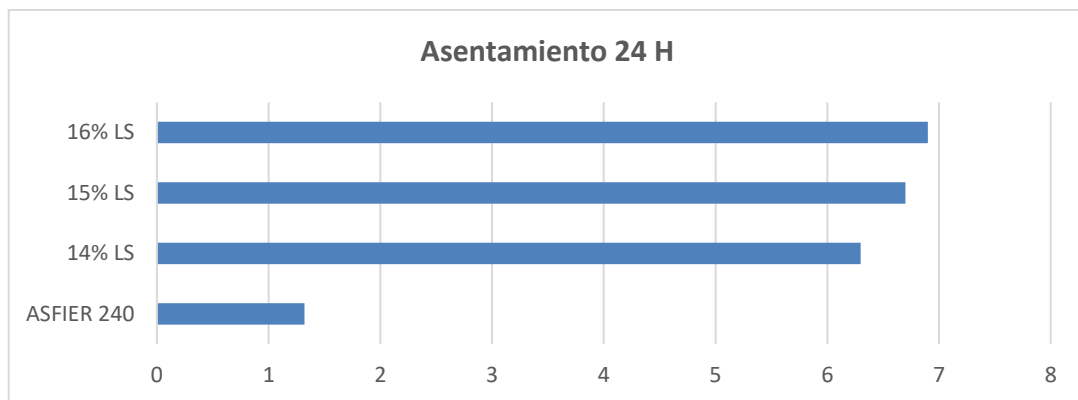
Resultados ensayo Asentamiento 24 Horas (% de asfalto)

Muestra	Ensayo No.	Resultados ensayo	Análisis estadístico	
			Promedio	Desviación estándar
ASFIER 240	1	1.33	1.32	0.017
	2	1.33		
	3	1.30		
14% LS	1	6.30	6.30	0.01
	2	6.29		
	3	6.31		
15% LS	1	6.50	6.70	0.02
	2	6.70		
	3	6.90		
16% LS	1	6.90	6.90	0.0
	2	6.90		
	3	6.90		

Nota. Descripción de los resultados del ensayo de asentamiento 24 horas. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 17.

Resultados ensayo Asentamiento 24 Horas (% de asfalto)



Nota. Descripción de los resultados del ensayo de asentamiento 24 horas. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.4.3. Viscosidad Saybolt Furol 50 °C (SSU)

Para este ensayo se utilizó un viscosímetro de Saybolt Furol al que se hace fluir una cantidad de 60 ml de emulsión asfáltica midiendo la facilidad con la que la muestra fluye a través de un orificio, estableciendo esto a una temperatura de 50 °C. Se mide el tiempo requerido para coleccionar 60 ml de emulsión obteniendo como resultado la viscosidad del fluido en segundos universales SSU.

Tabla 12.

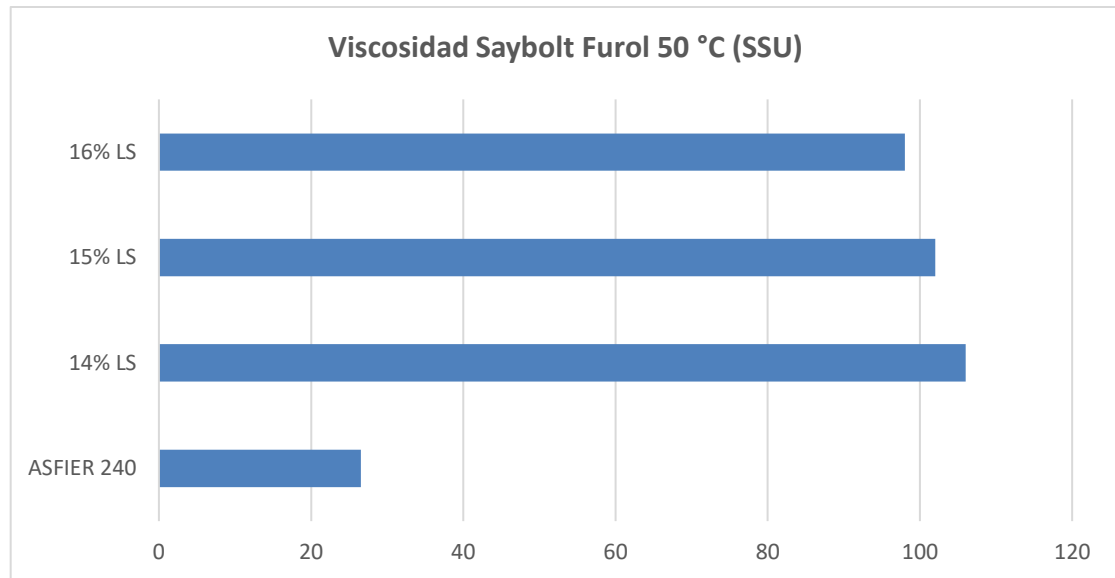
Resultados ensayo Viscosidad Saybolt Furol 50 °C (SSU)

Muestra	Ensayo No.	Resultados ensayo	Análisis estadístico	
			Promedio	Desviación estándar
ASFIER 240	1	30.3	29.54	0.00
	2	29.2		
	3	29.1		
14 % LS	1	105.0	106.0	0.01
	2	106.0		
	3	107.0		
15 % LS	1	101.1	102.0	0.01
	2	101.9		
	3	103.0		
16 % LS	1	98.0	98.0	0.017
	2	99.0		
	3	98.0		

Nota. Descripción de los resultados del ensayo de Viscosidad Saybolt Furol 50 °C (SSU).
Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 18.

Resultados ensayo Viscosidad Saybolt Furol 50 °C (SSU)



Nota. Descripción de los resultados del ensayo de Viscosidad Saybolt Furol 50 °C (SSU).
Elaboración propia, realizado con Excel.

4.4.4. Tamiz #20 (%)

Una muestra de emulsión se hace pasar a través de un tamiz de 0.850 mm (Nº 20) y se mide la cantidad de partículas de asfalto retenidas, obteniendo el porcentaje de retención de la muestra.

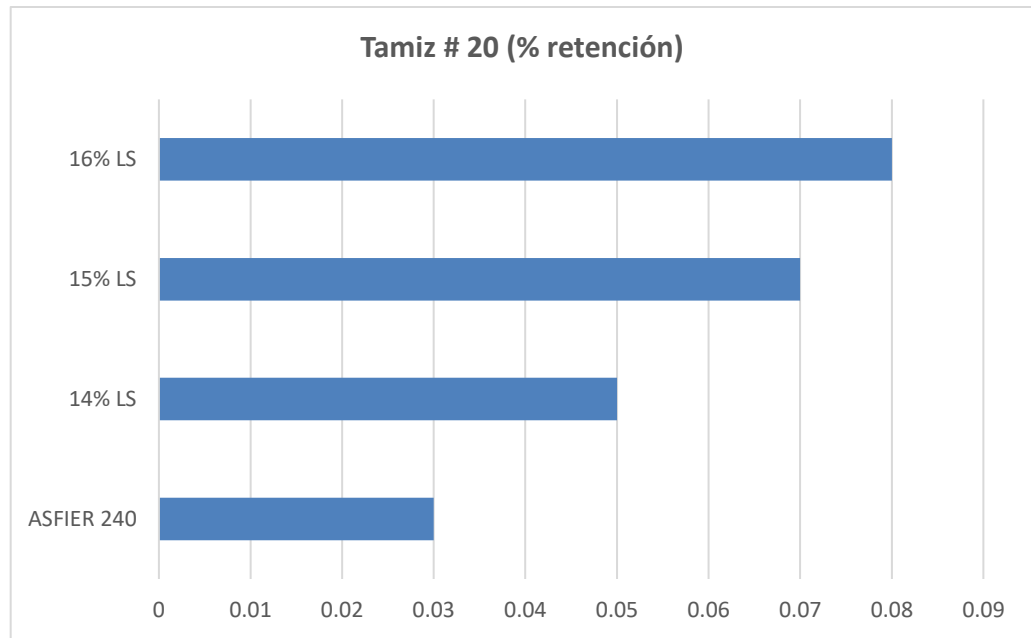
Tabla 13.*Resultados ensayo Tamiz # 20 (% retención)*

Muestra	Ensayo No.	Resultados ensayo	Análisis estadístico	
			Promedio	Desviación estándar
ASFIER 240	1	0.03	0.03	0.00
	2	0.03		
	3	0.03		
14 % LS	1	0.04	0.05	0.01
	2	0.06		
	3	0.05		
15 % LS	1	0.06	0.07	0.01
	2	0.08		
	3	0.07		
16 % LS	1	0.09	0.08	0.017
	2	0.09		
	3	0.06		

Nota. Descripción de los resultados del ensayo de tamiz # 20 (% retención). Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 19.

Resultados ensayo Tamiz # 20 (% retención)



Nota. Descripción de los resultados del ensayo de tamiz # 20 (% retención). Elaboración propia, realizado con Excel.

4.4.5. Carga de partícula

Para determinar la carta de partícula es necesario utilizar dos electrodos dentro de la emulsión asfáltica que se desea ensayar y hacer circular una corriente eléctrica, las emulsiones catiónicas mostrarán una deposición de material bituminoso en el cátodo o electrodo negativo.

Tabla 14.*Resultados ensayo Carga de partícula*

Muestra	Ensayo No.	Resultados ensayo
AC 30 ASFIER	1	+ (catiónica)
14% LS	1	+ (catiónica)
15% LS	1	+ (catiónica)
16% LS	1	+ (catiónica)

Nota. Descripción de los resultados del ensayo de carga de partícula. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.4.6. Tiempo de rompimiento

Se hace pasar por la muestra una corriente de 8 mA, el índice de rotura se expresa como rápido o lento según la corriente medida al transcurrir 30 minutos, sea mayor o menor a 2 mA dando por terminada la prueba.

Tabla 15.*Resultados ensayo Tiempo de rompimiento*

Muestra	Ensayo No.	Resultados ensayo
AC 30 ASFIER	1	Lento
14% LS	1	Lento
15% LS	1	Lento
16% LS	1	Lento

Nota. Descripción de los resultados del ensayo de tiempo de rompimiento. Elaboración propia, realizado con Excel.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados de los ensayos realizados a los cementos asfálticos evaluados, así como los límites indicados en las normas.

Tabla 16.

Resultados análisis al cemento asfáltico con las concentraciones de 0 %, 14 %, 15 % y 16 % LS

Propiedades	0% LS	14% LS	15% LS	16% LS	Límites CSS-1H	
					Min	Max
Viscosidad 135° (cPs)	458.0	283.0	256.0	276.7	*20	*100
Punto de ablandamiento (bola-anillo) (°C)	50	40	39	37,5	**40	
Penetración 25°C, 0.1 mm	43.0	214.0	229.33	314.0	***40	
Ductilidad 25° C, 5cm/min, (cm)	>100	>100	>100	>100	****40	

Notas:

*Límites de acuerdo con la norma ASTM D-4402.

**Límites de acuerdo con la norma ASTM D-36.

***Límites de acuerdo con la norma ASTM D-5.

****Límites de acuerdo con la norma ASTM D-113.

Nota. Descripción de los resultados del análisis al cemento asfáltico con las concentraciones de 0 %, 14 %, 15 % y 16 % LS. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 17.

Resultados análisis a las emulsiones asfálticas con emulsificantes ASFIER 240, lecitina de soya con las concentraciones de 14 %, 15 % y 16 % LS

Propiedades	ASFIER 240	14% LS	15% LS	16% LS	Límites CSS-1H	
					Min	Max
pH	2.0	7.8	7.8	7.8	*1.5	*2.5
Asentamiento 24 Horas	1.32	6.30	6.7	6.9	-	*5%
Viscosidad Saybolt Furol 50°C (SSU)	29.54	106	102	98	**20	**100
Tamiz # 20 (%)	0.03	0.05	0.07	0.08	**0.0	**0.1
Carga de partícula	+ (catiónica)	+ (catiónica)	+ (catiónica)	+ (catiónica)	**Positivo	
Tiempo de rompimiento	Lento	Lento	Lento	Lento	**Lento	

Notas:

*Límites de acuerdo con la norma ASTM D-244.

**Límites de acuerdo con la norma ASTM D-224.

***Límites de acuerdo con la norma ASTM D-6930.

****Límites de acuerdo con la norma ASTM D-3910.

Nota. Descripción de los resultados del análisis a las emulsiones asfálticas con emulsificantes ASFIER 240, lecitina de soya con las concentraciones de 14%, 15% y 16% LS. Elaboración propia, realizado con Excel.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el proceso de emulsionar el cemento asfáltico con agua se lleva a cabo utilizando agentes emulsificantes en este caso ASFIER 240 y lecitina de soya, este proceso industrialmente se realiza en tanques de mezclado, para el procedimiento en la investigación a nivel de laboratorio se llevó a cabo mediante utilizar un molino coloidal en la cual las partículas de agua, de emulsión y cemento asfáltico, se mantienen estables por actividad polar y apolar en las micelas formadas ya que los emulsificantes son moléculas anfifílicas o anfipáticas poseen un extremo hidrofílico y uno hidrófobo las cuales proveen el efecto emulsionante.

A continuación, se presenta el análisis y discusión de los resultados relacionados con el diseño de emulsiones del tipo CSS1H y la evaluación de cementos asfálticos elaborados con las mismas, los ensayos se rigen por normas nacionales e internacionales.

5.1. Diseño de las emulsiones

La investigación se enfocó en la comparación entre el agente emulsificante ASFIER 240 y lecitina de soya, para lo cual se realizaron 4 emulsiones, una con ASFIER 240 y 3 con lecitina de soya en porcentajes de 14 % p/p, 15 % p/p y 16 % p/p en mezcla, los cuales se estimaron mediante el HBL que satisface cada emulsión.

Existen diferentes factores que afectan la producción, almacenamiento, uso, y rendimiento de las emulsiones asfálticas, como: propiedades químicas de

la base de cemento asfáltico, dureza, tamaño de las partículas de asfalto en la emulsión, tipo, condiciones de elaboración, carga iónica en las partículas de emulsión, orden en que se agregan los elementos, tipo de equipo empleado en la elaboración de la emulsión, propiedades del agente emulsivo, concentración del agente emulsivo constituido generalmente por una sal de amina o amonio cuaternario que resulta de la acción de un ácido mineral (ácido clorhídrico) sobre la amina grasa.

Según la Tabla XI curva de neutralización del ASFIER 240, la amina forma parte no polar de la molécula la cual tiene afinidad con el asfalto y la parte polar afinidad por el agua.

Por esta razón es de suma importancia cada de uno de los componentes que se quieran utilizar en la emulsión según el campo de aplicación, en especial el tipo de emulsificante, que como primeramente se describió es quien define la carga iónica y el tiempo de rompimiento. Para seleccionar el tipo de emulsión asfáltica adecuado es necesario estudiar las propiedades químicas del agregado (principalmente la carga iónica y/o sus propiedades mineralógicas) y el sistema constructivo involucrado.

De acuerdo con la información consultada, las emulsiones catiónicas se comportan de manera satisfactoria con la mayoría de los agregados. El uso de emulsiones presenta ventajas técnicas, económicas, de seguridad y de protección ambiental.

5.2. Cemento asfáltico

Se evaluó un tipo de cemento asfáltico AC 30 con lecitina de soya en diferentes porcentajes identificados 0 % LS, 14 % LS, 15 % LS y 16 % LS.

Es importante el tipo de emulsificante que se utilice, ya que este define la carga iónica y el tiempo de rompimiento. Los cementos asfálticos se designan por las letras AC seguidas por dos cifras que indican los límites de penetración de aguja en décimas de milímetro. Los asfaltos dependen de las proporciones de sus componentes y a mayor proporción de asfaltenos presentan mayor dureza.

Figura 20.

Especificaciones de graduación del cemento asfáltico

TIPO Y GRADO DEL CEMENTO ASFÁLTICO	ESPECIFICACIÓN
Graduación por viscosidad: <ul style="list-style-type: none"> • AC-10 • AC-20 • AC-40 	AASHTO M 226
Graduación por penetración: <ul style="list-style-type: none"> • 40-50 • 60-70 • 85-100 • 120-150 	AASHTO M 20
Graduación PG: <ul style="list-style-type: none"> • 64-22 • 70-22 • 76-22 • 82-22 	AASHTO MP 1

Nota. Descripción de los tipos y grado del cemento asfáltico. Dirección General de Caminos. (2001). *Especificaciones generales para la Construcción de Carreteras y Puentes DGC*. [Imagen]. (<https://www.caminos.gob.gt/files/Desc-LibroAzul-Sept2001.pdf>), consultado el 16 de febrero de 2023.

Los materiales deberán cumplir los requisitos indicados en la División 400, Sección 401 del Libro de Especificaciones Generales Para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos, (Libro Azul), principalmente lo indicado en las tablas 401-1 y 401-2 y 401-16 Cantidad de cemento asfáltico (ASTM D 3515), (AASHTO T164).

Figura 21.

Equivalencias grado de penetración y viscosidad

Grado de Penetración	Grado de Viscosidad AC (Asphalt Cement)
40-50	AC-40
60-70	AC-20
85-100	AC-10
120-150	AC-5
200-300	AC-2.5

Nota. Descripción de las equivalencias entre grado de penetración y viscosidad. Salazar, J. (2011). *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01.22:047)*. [Imagen]. (<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/8392>), consultado el 16 de febrero de 2023.

A continuación, se presenta la discusión de los resultados de los ensayos realizados a los cementos asfálticos evaluados, se utilizaron los valores promedio.

5.2.1. Ductilidad 25° C, (cm)

Los asfaltos que poseen alta ductilidad normalmente son más adhesivos que aquellos que tienen en menor grado esta característica, pero pueden variar su consistencia rápidamente al cambiar la temperatura (más susceptibles a la temperatura). Como presenta Salazar (2011): “la presencia o ausencia de ductilidad es importante porque mide la capacidad del asfalto a la elongación antes de romperse, bajo condiciones controladas. Los asfaltos dúctiles poseen normalmente mejores propiedades aglomerantes” (p. 28). Por otra parte, asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente susceptibles a los cambios de temperatura y por lo tanto a la deformación.

De acuerdo con los resultados, en todos los cementos asfálticos se obtuvo un valor por encima de 100 cm, lo cual cumple con el valor mínimo según la norma ASTM D-113 que es de 40 cm, siendo estos asfaltos dúctiles, por lo que se concluye que tienen propiedades aglomerantes y son susceptibles a cambios de temperatura.

5.2.2. Viscosidad a 135 °C

En el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01.22:047) se indica que la viscosidad, según Salazar (2011): “es una propiedad fundamental del asfalto, determina el comportamiento del material con respecto a la temperatura” (p. 26). De esta forma se garantizan condiciones adecuadas para el almacenamiento del asfalto, transporte y bombeo, además este parámetro se utiliza en el cálculo de temperaturas de mezclado y compactación.

Las especificaciones de los materiales y trabajos de pavimentación requieren generalmente de ciertos valores de viscosidad a temperaturas de

135°C del asfalto durante el mezclado y su colocación. De acuerdo con la Norma ASTM D – 3381 (Clasificación Estándar por Grado de Viscosidad para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación) los asfaltos se clasifican en base a su viscosidad absoluta a 135 grados Celsius.

De acuerdo con los resultados la muestra a 0 % LS tiene el valor más alto 458.0 cPs, seguido por los cementos 14 % LS con 283.0 cPs, 15 % LS con 276.0 cPs y 16 % LS con 256.0 cPs. Se observa que los cementos con lecitina tienen un comportamiento inversamente proporcional al valor de la viscosidad a 135°C.

Con los resultados obtenidos con el cemento asfáltico a las diferentes concentraciones de LS, se observa un comportamiento en el que mientras mayor sea la concentración de LS menor será la viscosidad del cemento asfáltico.

Esta propiedad es importante para el manejo y aplicación del cemento asfáltico debido a que este a temperatura ambiente es sólido y para uso en riegos debe calentarse, la adición de LS podría representar una gran ventaja y un ahorro económico ya que se necesita menor temperatura para que el cemento asfáltico este en estado fluido y representa una disminución de la volatilización de moléculas que conforma el cemento asfáltico como lo son los asfáltenos, con lo cual se tiene un mayor tiempo de rendimiento en un cemento asfáltico.

En los cementos preparados con lecitina de soya, esta se adicionó al cemento asfáltico, lo que afecta sus propiedades físicas y químicas ya que se disuelve fácilmente en hidrocarburos. En el momento de adicionarla disminuyó la viscosidad cinemática debido a que la lecitina de soya favorece la fluidez del cemento asfáltico ya que es un plastificante y esta es soluble en hidrocarburos y no en la solución acuosa.

5.2.3. Punto de ablandamiento °C

De acuerdo con los resultados el cemento con una concentración de 0 % LS se obtuvo 50.0 °C siendo este el valor más alto, seguido de los cementos al 14 % LS con 40.0 °C, 15 % LS con 39.0 °C, el cemento 16 % LS con 37.5 °C. Se observa que los resultados de los cementos con lecitina tienen un comportamiento inversamente proporcional al punto de ablandamiento.

Esto puede afectar el comportamiento del asfalto si las temperaturas de servicio del asfalto son altas. El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio. El punto de ablandamiento puede servir para establecer la uniformidad de los embarques o fuentes de abastecimiento.

5.2.4. Penetración a 25 °C

Como expone, en su artículo publicado sobre el reglamento Salazar (2011):

La prueba de penetración es otro método para cuantificar la consistencia del asfalto, también utilizada como guía y para caracterizar asfaltos por grado de penetración. En general asfaltos blandos tendrán penetraciones mayores que los más rígidos. Los ensayos de penetración fueron utilizados dentro de las primeras metodologías de clasificación de asfaltos y aun se siguen utilizando. (p. 27)

La prueba de penetración se utiliza como medida de coherencia, los valores más altos de penetración indican consistencia más blanda, bajo condiciones específicas de 200 a 300 décimas de milímetro indica lo que la aguja penetró en la muestra. De acuerdo con la Norma ASTM D-946 (Clasificación Estándar por Grado de Penetración para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación), esta es una indicación de que un asfalto es blando, por el contrario, un grado 40 – 50 mm/10 indica que el asfalto es duro.

De acuerdo con los resultados el cemento 16 % LS se obtuvo un resultado de 31.40 mm tiene el valor más alto, seguido de los cementos 15 % LS con 22.93 mm, el cemento 14 % LS con 21.40 mm y la muestra a 0 % LS tiene el valor más bajo con 4.30 mm. El cual representa mayor dureza mientras más bajo sea el valor. Se observa que los resultados de los cementos con lecitina de soya tienen un comportamiento directamente proporcional al valor de la penetración 25°C.

El uso de la lecitina de soya provoca un aumento considerable en el valor de la penetración, asemejándose en sus propiedades a un AC 2.5 a AC 5, esto debido a que al agregar la lecitina de soya al cemento asfáltico este modifica sus propiedades haciéndolo más blando.

5.3. Emulsión asfáltica

Se prepararon 4 cementos asfálticos AC 30 emulsificados con ASFIER 240, 14 % LS, 15 % LS y 16 % LS. Para la mezcla con ASFIER 240 se agregó ácido clorhídrico según la curva de neutralización brindada por el fabricante, en el caso de la mezcla con lecitina de soya se agregó glicerina y goma de xantana debido a que proveen viscosidad a la emulsión volviendo a esta más estable y con una consistencia de crema. Estos se analizaron en el laboratorio con el objetivo de establecer si existen cambios en las propiedades mecánicas del

cemento asfáltico AC 30 emulsificado con ASFIER 240 y lecitina de soya a diferentes concentraciones.

5.3.1. pH

En las emulsiones catiónicas, el pH es ácido, según Salazar (2011): “la velocidad de ruptura aumenta cuando el pH de la emulsión catiónica aumenta” (p. 15).

Las variaciones de pH influyen directamente sobre la estabilidad y la adhesividad de las emulsiones con el agregado, puede suceder que una emulsión con un pH bajo sea demasiado lenta para una mezcla y se produzcan demoras en el inicio de la compactación y librado al tránsito, es posible utilizar una emulsión con un pH mayor la que probablemente será algo más rápida, producirá un corte en menos tiempo y dará solución al problema.

De acuerdo con los resultados de la emulsión asfáltica con ASFIER 240 el valor de pH de 2.0 es una solución ácida, debido a la adición de ácido clorhídrico, para garantizar que la emulsión no pierda aceleradamente su estabilidad, por el contrario, para las emulsiones con 16 % LS, 15 % LS y 14 % LS se obtuvo un valor de pH de 7.80 debido a la influencia del agua utilizada en la mezcla.

Por otra parte, como se observa en las emulsiones con 16 % LS, 15 % LS y 14 % LS se obtuvo un valor de pH de 7.80, esto sucede debido a que la emulsión tomó el valor de pH del agua agregada ya que la LS se agregó directamente al asfalto AC-30 siendo este soluble en hidrocarburos y no en agua. Además, al agua se le agregó goma xantana y glicerina las cuales no modificaron el valor del pH únicamente sus propiedades viscosas y espesantes.

5.3.2. Asentamiento 24 horas

De acuerdo con los resultados el asentamiento para las 24 horas de reposo, la emulsión al 16 % LS con 6.9 % tiene el valor más alto, seguido de la emulsión al 15 % LS con 6.7 %, 14 % LS con 6.3 % y el ASFIER 240 con 1.32 %. Se observa que los resultados de las emulsiones con lecitina de soya tienen un comportamiento directamente proporcional debido a que al incrementar el porcentaje de lecitina de soya en la emulsión el cemento asfáltico tiende a aglutinarse y presentar mayor asentamiento en el fondo.

El asentamiento se reporta como la diferencia de los promedios porcentuales de asfalto de la parte inferior y superior. El valor máximo permisible de asentamiento es de 5 % para cualquier tipo de emulsión según ASTM D-244.

5.3.3. Viscosidad de Saybolt Furol

Esta prueba cuantifica el estado de fluidez de la emulsión a la temperatura de estudio, el ensayo se emplea normalmente para cementos asfálticos o emulsiones. Se lleva a cabo con un viscosímetro del tipo Saybolt, en el cual se mide el tiempo en que la muestra de emulsión llena un matraz aforado de 60 ml a través de un orificio.

Según los resultados obtenidos en los ensayos la muestra de ASFIER 240 obtuvo un valor de 29.54 SSU, la emulsión al 14 % LS obtuvo 106.00 SSU, 15 % LS obtuvo 102.00 SSU, 16 % LS obtuvo 98.00 SSU. Con esto se observa una relación inversamente proporcional de SSU con respecto a la concentración de LS presente en la muestra.

La presencia de micelas grandes puede obstruir el orificio indicando que la muestra se está rompiendo, sin embargo, este no es el caso de estas emulsiones y al adicionar LS su valor de SSU es cercano a 100, siendo este el máximo permitido por la norma ASTM D-224.

5.3.4. Tamiz # 20

De acuerdo con los resultados el cemento 16 % LS con 0.08 % tiene el valor más alto, seguido de los cementos 15 % LS con 0.07 %, 14% LS con 0.05 % y el cemento AC30 ASFIER con 0.03 %. Se observa que los resultados de los cementos con lecitina de soya tienen un comportamiento directamente proporcional al resultado de la prueba de tamiz # 20.

Mediante este ensayo se determina la cantidad de producto asfáltico mal emulsionado que hay en la emulsión, también es una medida de calidad y estabilidad de la emulsión. Una muestra de emulsión se hace pasar a través de un tamiz N° 20 de 0.850 mm y se mide la cantidad de partículas de asfalto u otros materiales retenidos.

Por ejemplo, una cantidad excesiva de partículas puede indicar problemas en el manejo y aplicación de la emulsión.

5.3.5. Carga eléctrica de la partícula

De acuerdo con los resultados, en todos los cementos asfálticos se obtuvo una carga +catiónica. El ensayo se realizó de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM D-6930, los tensoactivos catiónicos son compuestos que poseen uno o varios grupos funcionales que se ionizan en disolución acuosa, generando

iones orgánicos con carga positiva responsables de su actividad superficial. Suelen ser compuestos orgánicos con amonio cuaternario.

Los tensoactivos proceden en su mayoría de fuentes petroquímicas, sin embargo, razones de carácter biotecnológico y medioambiental han aumentado recientemente el interés por los tensoactivos de origen natural (biotensoactivos) como agentes emulsificantes renovables.

Debe tomarse en cuenta que no toda emulsión catiónica será automáticamente apta para esa mezcla por el solo hecho de ser lenta según la norma ASTM D-224, debido a que existen ensayos normalizados que diferencien a las emulsiones lentas entre sí, es necesario evaluar la compatibilidad de cada emulsión con el agregado a utilizar.

5.3.6. Tiempo de rompimiento

De acuerdo con los resultados, todos los cementos asfálticos evaluados dieron un tiempo de rompimiento lento, estos se diseñan para lograr mezclas estables, se emplean con granulometrías cerradas con alto porcentaje de finos.

A los grados de rotura lenta corresponden prolongados períodos de trabajabilidad para asegurar una buena mezcla con agregados de granulometría cerrada.

Todos los grados de rotura lenta tienen baja viscosidad, que puede ser más reducida con la incorporación de agua. Diluidos, estos grados pueden también ser usados para sellos de liga, riego pulverizado y como paliativos de polvo.

CONCLUSIONES

1. El uso de emulsiones asfálticas presenta ventajas técnicas, económicas, de seguridad y protección ambiental frente a los diluidos, por lo que se debe impulsar su uso.
2. Se realizó el diseño y evaluación de emulsiones asfálticas a partir del agente emulsificante extraído de aceite vegetal (lecitina de soya) en diferentes porcentajes, comparándose sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas con una emulsión asfáltica convencional a partir del agente emulsificante ASFIER 240 ambas del tipo CSS1h.
3. Se establecieron los porcentajes óptimos de emulsificante natural (lecitina de soya) a evaluar 14 %, 15 % y 16 %, de acuerdo con los requerimientos de las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos.
4. En la sección de Mecánica de Suelos y Asfaltos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, se realizaron los ensayos de laboratorio de ductilidad, viscosidad dinámica, penetración y punto de ablandamiento a los cementos asfálticos evaluados.
5. Se determinó el tiempo de rompimiento a las emulsiones asfálticas elaboradas (emulsión asfáltica natural con agente emulsificante natural (lecitina de soya) y convencional ASFIER 240), de acuerdo con los resultados todas las muestras se clasifican del tipo de rotura lenta (CSS-1h).

6. Se determinó la carga y la polaridad de las emulsiones asfálticas elaboradas (emulsión asfáltica natural con agente emulsificante natural (lecitina de soya) y convencional ASFIER 240), de acuerdo con los resultados todas las muestras se clasifican del tipo + catiónicas.
7. Se determinó la afinidad entre el agregado y las emulsiones asfálticas elaboradas (emulsión asfáltica natural con agente emulsificante natural de lecitina de soya y convencional ASFIER 240), por medio de la prueba de asentamiento las cuales en los diferentes porcentajes de lecitina de soya no cumplieron el valor máximo permisible de asentamiento de 5 % para cualquier tipo de emulsión según la norma ASTM D-244.
8. Se determinó la viscosidad de las emulsiones asfálticas elaboradas con diferentes concentraciones de lecitina de soya, por medio de la prueba de los ensayos de Viscosidad Saybolt Furol se concluye que debido a los valores obtenidos en todos los ensayos cercano a 100 SSU, estas emulsiones no cumplen con el máximo permiso según la norma ASTM D-224.

RECOMENDACIONES

1. Al Centro de Investigación de Ingeniería, apoyar investigaciones que evalúen la aplicación en campo de las emulsiones asfálticas elaboradas con emulsión asfáltica natural con agente emulsificante natural (lecitina de soya) en los porcentajes del 14 %, 15 % y 16 %.
2. A los Investigadores de CII de la Facultad de Ingeniería, realizar investigaciones que evalúen la elaboración y aplicación de agente emulsificante natural (lecitina de soya) en diferentes dosificaciones a las evaluadas en este trabajo.
3. Realizar un análisis económico de cementos asfálticos elaborados con emulsión asfáltica natural con agente emulsificante natural (lecitina de soya) usados en mezclas asfálticas, determinado la relación de costo/beneficio de cada uno.
4. A las autoridades y constructores de carreteras impulsar el uso de emulsiones asfálticas que sean económicas y de protección ambiental, que presenten ventajas técnicas y de seguridad frente a los cementos asfálticos tradicionales.
5. A los organizadores de los congresos de estudiantes de ingeniería química, difundir el uso y aplicaciones de la lecitina de soya como emulsificante asfáltico

6. Realizar un barrido de HLB, de emulsificantes con lecitina de soya y otros emulsificantes para evaluar un mejor resultado favorable que no afecte las características de a la viscosidad, penetración del bitumen.
7. Evaluar nuevos productos a base de asfalto con características tipo pasta, a partir de emulsiones como lecitina de soya y agregados de goma xantana y glicerina, ya que proveen de viscosidad a la emulsión volviéndola más estable y con una consistencia de crema.
8. Analizar el agua que se use para fabricar emulsiones asfálticas y determinar sus características físicas y químicas.
9. Para seleccionar el tipo de emulsión asfáltica adecuado es necesario estudiar las propiedades químicas del agregado (principalmente la carga iónica y sus propiedades mineralógicas) y el sistema constructivo involucrado.

REFERENCIAS

- American Standard for Testing and Materials. ASTM. Normas: D-5, ASTM D-36, ASTM D-113, ASTM D-244, ASTM D-4402, ASTM D-6930. Estados Unidos.
- Antón, Raquel. & Salager, Juan. Surfactantes. Cuaderno FIRP 300A. Universidad de los Antes. Mérida. 1990. 124 p.
- Antón, Raquel. & Salager, Juan. El mundo de los surfactantes. Cuaderno FIRP 311A. Universidad de los Antes. Mérida. 1992. 150 p.
- Antón, Raquel. & Salager, Juan. Formulación HBL, PIT, y R de Winsor. Cuaderno FIRP 210A. Universidad de los Antes. Mérida. 1992. 110 p.
- Antón, Raquel. & Salager, Juan. Métodos de medición de la tensión superficial o interfacial. Cuaderno FIRP 205A. Universidad de los Antes. Mérida. 1993. 84 p.
- Asphalt Institute. Emulsiones Asfálticas. Manual básico Serie N° 19. USA. 2001. 120 p.
- Biblioteca Digital - Universidad de Sonora. (n.d.). [Www.bidi.uson.mx](http://www.bidi.uson.mx). Retrieved October 24, 2022, from <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=10577>

BRACHO, C. L. (2005). Cuaderno FIRP S366C Emulsiones asfálticas. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.

BRACHO, Carlos. Emulsiones asfálticas. <<https://www.slideshare.net/erucito/13-emulsiones-asfalticas>> [Consulta: 26 de mayo de 2020].

Bracho, Carlos. Desarrollo y Caracterización de Emulsiones Asfálticas. Trabajo de Ascenso a Profesor Asociado. Informe Técnico FIRP N° 9512. Universidad de los Andes. Mérida. 1995. 58 p.

CORNEJO, J. *Análisis de la optimización del riesgo de liga en la colocación de carpeta asfáltica en caliente*. [Tesis de grado, Universidad de El Salvador] <https://docplayer.es/22556501-Analisis-de-la-optimizacion-del-riego-de-liga-en-la-colocacion-de-carpeta-asfaltica-en-caliente.html>

Delbono, H. (2014). *Estudio de grillas poliméricas en sistemas anti-reflejo de fisuras bajo solicitaciones dinámicas*. [Tesis doctoral, Universidad Tecnológica Nacional]. Archivo digital. <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/2296/Estudio%20de%20grillas%20polim%C3%A9ricas%20en%20sistemas%20anti%20reflejo%20de%20fisuras%20bajo%20solicitaciones%20din%C3%A1micas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Del Campo López, E. (2006). Polimerización de aceite de soya vía radiación Gamma, caracterización morfológica y estructural. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química. Toluca, Estado de México

Fernández del Campo, Ángel. Pavimentos bituminosos en frío. Editores Técnicos Asociados S.A., Barcelona, España. 1993. 247 p.

FUNDALANAVIAL. Manual Visualizado de Emulsiones Asfálticas. Venezuela. 2003. 94 p.

Galván, L. (2015). *Criterios de análisis y diseño de una mezcla asfáltica en frío con pavimento reciclado y emulsión asfáltica*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3262051>

Gomez, C. (2017). Uso y aplicaciones de las emulsiones asfálticas. [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui]. Archivo digital. https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/265/Christian_TrabajoDeSuficienciaProfesional_titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gómez, J. y Gómez Peña, J. (2020). *Análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas de una mezcla asfáltica en frío, elaborado con agregados reciclados y emulsión asfáltica de rotura lenta, en referencia a una mezcla patrón, Cusco 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Archivo digital. https://repositorio.uandina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12557/3609/Juan_Junior_Tesis_bachiller_2019_Part.1.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Hernández, Andrés. & Orentas Vinicio. Diseño de mezcla arena – emulsión para la construcción de vías rurales. 2º Congreso Venezolano del Asfalto. Maracaibo. Estado Zulia. 2000.

Hernández, R. (2019). *Lípidos II*. Slidesver.com.
<https://www.slideserve.com/alta/lic-ra-l-hern-ndez-m>

Montes, R. (2018). *Evaluación en laboratorio de emulsiones imprimantes para un determinado tipo de suelo*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Archivo digital. <https://1library.co/document/qo5pmlmy-evaluacion-laboratorio-emulsiones-imprimantes-determinado-tipo-suelo.html>

Medina, V. (2013). *Evaluación del efecto tensoactivo de lecitina natural aplicada en la elaboración de emulsiones farmacéuticas*. [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Archivo digital. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2020/1/T-UCE-0008-29.pdf>

Mercado, R., Bracho, C. & Avendaño, J. (2008). Cuaderno FIRP S365 A Emulsiones asfálticas, usos rompimiento. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química.

Migliacci, Susan & Zambrano, Robert. Investigación sobre mezclas con emulsión asfáltica, mejoradas con fibra de poliéster, para su aplicación en pavimentos económicos con altos volúmenes de tráfico pesado. Universidad José María Vargas. Facultad de Ingeniería. Venezuela. 1999.

Otiniano, M. & Paria, M. (2016). *Análisis de las propiedades físico-mecánicas presentes en las mezclas asfálticas en frío utilizando emulsiones*

asfálticas catiónicas y agregados pétreos de la localidad –NVO. Chimbote –2015. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Archivo digital. <https://www.doccity.com/es/analisis-de-las-propiedades-fisico-mecanicas-presentes-en-las-mezclas-asfalticas-en-frio-utilizando-emulsiones-asfalticas/4222599/>

Ortega, M. (2009). *Comportamiento reológico de disoluciones acuosas de surfactantes comerciales no iónicos.* [Tesis doctoral, Universidad de Granada]. Archivo digital. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/3489/18526536.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Peláez, B. (2018). *Mezclas asfálticas elaboradas con emulsión tipo CSS1h.* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/11388/1/Byron%20Ricardo%20Pel%C3%A1ez%20Ascencio.pdf>

WISE. Estabilización de suelos con emulsiones asfálticas. <<https://blog.wise.com.mx/estabilizaci%C3%B3n-de-suelos-con-emulsiones-asf%C3%A1lticas>>. [Consulta: 20 de abril de 2021].

Romero, V. (2017). *Estudio comparativo de las propiedades físico mecánicas de las unidades de adobe tradicional frente a las unidades de adobe estabilizado con asfalto.* [Tesis de pregrado, Universidad Anida del Cusco]. Archivo digital. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/1052>

Salazar, J. (2011). *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01.22:047)*. Universidad de Costa Rica. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/8392>

Sanz, A. (2023). *La industria de los agentes tesoactivos*. Química Orgánica Industrial. <https://www.eii.uva.es/orgánica/qoi/tema-10.php>

Soengas, Chistopher. Las emulsiones asfálticas en procesos de impermeabilización. <<http://frlp.utn.edu.ar/lemac/Publicaciones/Del%202005/006%20-%20cila%20impermeabilizacion.pdf>>. [Consulta: 26 de mayo de 2021].

Vargas-Gutiérrez, A. (2016). *Experiencia de diseño de micropavimentos en El Salvador*. [Tesis de maestría, Universidad de Piura]. Archivo digital. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2622/MAS_ICIV-L_033.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ulloa Calderón, A. (2012). Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio. *Métodos y Materiales*. Volumen 2. noviembre 2012. Costa Rica. p. 18.

ANEXOS

Anexo 1.

Certificado de análisis de glicerina

Analysis / Result		
Parameters	Specifications	Results
Glycerin, % Assay (C ₃ H ₈ O ₃ calculated on anhydrous basis)	99.0-101.0	99.89
Water content, % w/w	5.0 max	0.17
Specific Gravity at 25°C	1.2949 min	1.2618
Color	Passed	Passed
Residue on ignition, %	0.01 max	<0.01
Chlorides, %	0.001 max	<0.001
Sulfates, %	0.002 max	<0.002
Heavy metals (as PB), ppm	5 max	<5
Limit of chlorinated Compounds, ppm	30 max	<30
FA & E as ML of 0.5 NaOH max	1 max	0.5 ml of 0.5 N NaOH was consumed
Identification	Passed	Passed
-A (IR)		
-B (limited of Diethylene Glyco & Ethylene Glycol)		
-Diethylene Glycol%	0.10 max	<0.025
-Ethylene Glycol%	0.10 max	<0.025
-C (RT of Glycerine's peak)	Meets test requirement	Meets test requirement
Related compounds	0.1 max	All the individual impurities are less than 0.1
-Individual impurities, % (excluding and solvent peak & diethylene glycol)		0.1
-Total impurities%	1.0 max	<1.0
Glycerol%	99.7 min	99.83
Color apha	10 max	5
Arsenic, ppm	1.5 max	<0.1

Nota. Información sobre el resultado de los análisis. Obtenido de Quimiprova S. A. (2022). *Análisis de glicerina*. p. 3.

Anexo 2.

Certificado de análisis de lecitina de soya

We hereby certify that :

Condition : THE GOODS ARE WARRANTED TO BE OF GOOD MERCHANTABLE QUALITY AT TIME AND PLACE OF STUFFING.

Sampling Method : SAMPLES WERE TAKEN AT TIME AND PLACE OF STUFFING. QUALITY FINAL AT TIME AND PLACE OF STUFFING THE CONTAINER AS PER SAMPLES DRAWN BY BUYATTI PLANT AND ANALYSIS MADE BY BUYATTI LABORATORY. THE PARTIES AGREE THAT THERE SHALL NOT BE ALLOWANCES AT ANY RATE FOR QUALITY DEFICIENCIES AT LOADING ACCORDING TO CERTIFICATES ISSUED BY CARGILL.

Analysis : A COMPOSITE SAMPLE REPRESENTING THE TOTAL CARGO OF EACH CONTAINER WAS DRAWN AT THE POINT OF LOADING AND WAS SUBMITTED TO BUYATTI LABORATORY, PUERTO SAN MARTIN, FOR ANALYSIS PURPOSES AND ACTUAL RESULTS ARE TRANSCRIBED HEREUNDER:

BATCH NUMBER: BW
MANUFACTURING DATE: 26/08/2016
EXPIRATION DATE: 26/08/2018 (24 months from manufacturing date under adequate transport and storage conditions)

Parameter	Results	Min	Max	Method
Acetone Insolubles	61,16%	60	65	AOCS Ja 4-46
Hexane Insolubles	0,19 %	-	0,3	AOCS Ja 3-87
Acid value	24,40 mg KOH/g	-	25	AOCS Ja 6-55
Peroxide index	- mEq/Kg	-	5	AOCS Ja 8-87
Moisture	0,55 %	-	1	AOCS Ja 2A-46
Gardner color value (diluted 10%)	10	-	12	AOCS Ja 9-87
Viscosity (25°C)	66 Ps	-	100	AOCS Ja 10-87

Microbiological Parameter

Nota. Información sobre el resultado de los análisis de lecitina de soya. Obtenido de Quimiprova S. A. (2022). *Análisis de lecitina de soya*. p. 4.

Anexo 3.

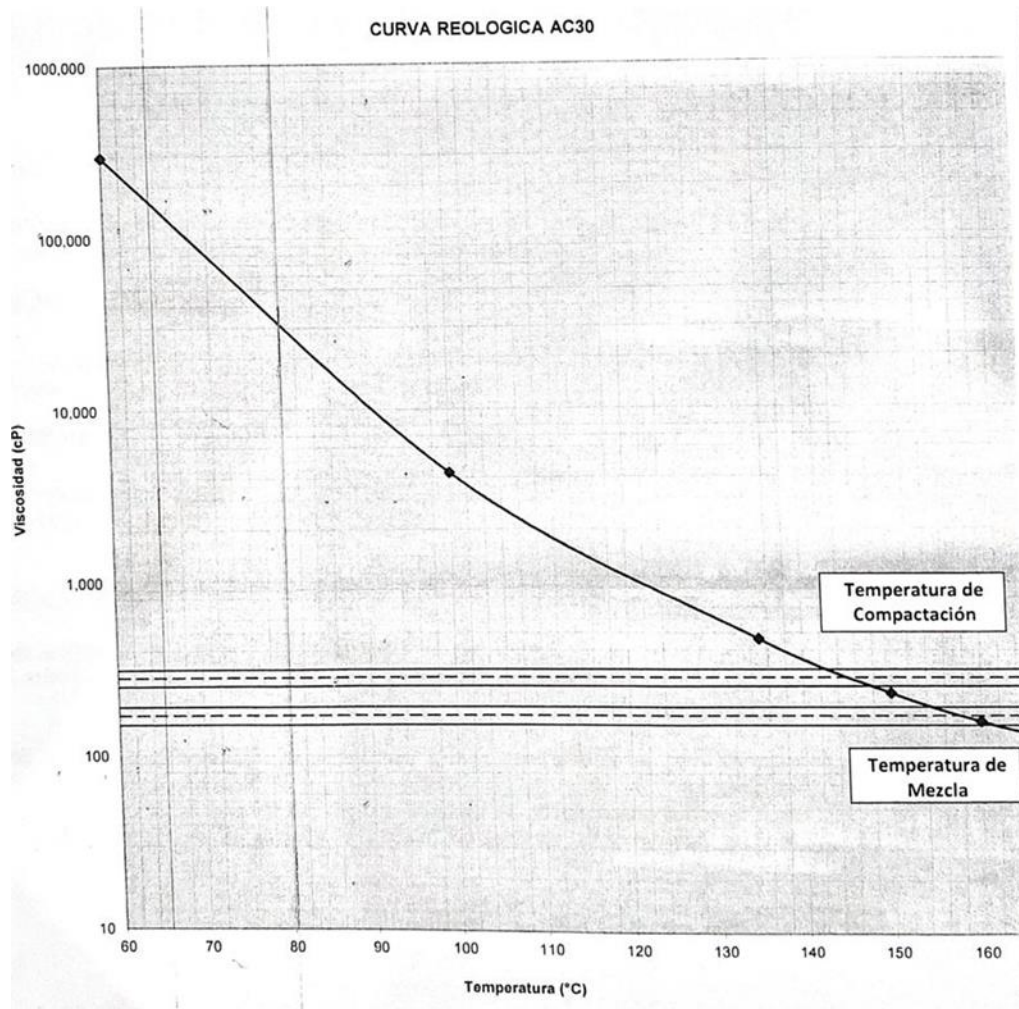
Certificado de análisis de cemento asfáltico AC 30

REPORTE DE ANÁLISIS			
ANÁLISIS	METODO ASTM	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES
VISCOSIDAD, 140°F (60°C); P	D 4402	2,970	3,000 ± 600
VISCOSIDAD, 275°F, (135°C); cSt	D 4402	458	350 min.
PENETRACION 25°C, 100g, 5S; mm/10	D 5	57	50 min.
PUNTO DE DESTELLO, COC; °C	D 92	327	230 min.
PUNTO DE ABLANDAMIENTO; °C	D 36	52	REPORTAR
GRAVEDAD ESPECIFICA; A 60°F	D 70	1.023	REPORTAR
DUCTILIDAD, 25°C; cm	D 113	>150	REPORTAR
SOUBILIDAD EN TRICLOROETILENO; %	D 2042	99.99	99 min.
ENSAYOS AL RESIDUO DE RTFOT			
ENSAYOS AL RESIDUO DE RTFOT	D 2872		
VISCOSIDAD, 140°F (60°C), P	D 4402	9,920	12,000 max.
DUCTILIDAD A 25°C, cm	D 113	>150	40 min.
EMBIORIO DE MASA, % P/P	D 2872	+0.012	1 max.
TEMPERATURA DE COMPACTACION, °C	D 4402	143°C -- 148°C	REPORTAR
TEMPERATURA DE MEZCLA, °C	D 4402	155°C -- 160°C	REPORTAR

Nota. Certificado del análisis realizado al cemento asfáltico AC 30. Obtenido de UNOBitumen S. A. (2022). *Análisis de cemento asfáltico AC 30*. p. 1.

Anexo 4.


Curva reológica cemento asfáltico AC 30



Nota. Información sobre la curva reológica cemento asfáltico AC 30. Obtenido de UNOBitumen S. A. (2022). *Análisis de cemento asfáltico AC 30*. p. 2.

Anexo 5.

Certificado de análisis ASFIER 240



Enriching lives,
in harmony with nature.

G-01-004-265
Revisión: 03
Fecha: 12/12

HOJA TÉCNICA

ASFIER 240

Emulsificante asfáltico catiónico de rompimiento superestable

DESCRIPCIÓN.

El ASFIER 240 es un emulsificante catiónico líquido que se utiliza para la manufactura de emulsiones asfálticas del tipo lento o superestable.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.

Aspecto 25 °C:	Líquido viscoso
Olor:	Característico

ESPECIFICACIONES.

Humedad (%Peso):	27.0 - 32.0
pH (sol. ac. al 3%):	7.0 - 9.0

USOS Y APLICACIONES.

Las emulsiones fabricadas a partir de ASFIER 240 muestran buena estabilidad y cubrimiento adecuado con materiales pétreos de diferente naturaleza mineralógica.

El ASFIER 240 es adecuado para formar emulsiones destinadas para mezclas densas en frío, estabilización de suelos, slurry seal del tipo "SLOW SET" y reciclado de pavimentos. **El Asfier 240 es una mezcla compleja de diversas sustancias, por lo que se debe de agitar el producto antes de usarse para lograr mejores resultados.**

Gf-01-004-09

Pág. 1/3

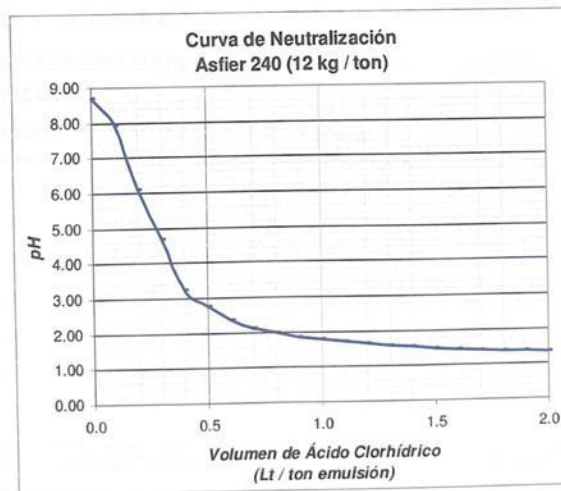
Continuación del anexo 5.

En caso de que la temperatura del medio ambiente sea inferior a los 10°C, se recomienda agitar y calentar el tambor que contiene Asfier 240 a una temperatura entre los 40°C y 60°C antes de utilizarlo, ya que el producto tiende sedimentarse a bajas temperaturas. Cuando la temperatura ambiente sea superior a los 20°C se recomienda solo agitar el producto antes de utilizarlo.

Se recomienda una dosificación de 12 a 14 kg por tonelada de emulsión para que el comportamiento de ésta sea de tipo antes mencionado. El pH normal de trabajo de la solución jabonosa debe ser de 1.8 a 2.0 de acuerdo a las condiciones de manejo y aplicación de la misma.

Una formulación típica base en peso sería la siguiente:

FORMULACIÓN TÍPICA	
ASFALTO	600 - 610 kg
AGUA	400 - 390 kg
ASFIER 240	13.0 kg
ACIDO CLORHIDRICO	Hasta ajustar pH de 1.8
TOTAL	1000 kg



Nota. Se describe el certificado de análisis ASFIER 240. Obtenido de KAO. (2022). *Análisis ASFIER 240.* p. 1.

Anexo 6.

Análisis de agua de emulsión

	Lic. Rabindranath Valdés Hernández Licda. Edlyn Hortensia Valdés Argueta Químico Biólogo, Colegiado 1619 Química Bióloga, Colegiado 4572 ZA. CALLE 9-50 ZONA 2 CHIQUIMULA, CHIQUIMULA Tels.: 7942-3640 7942-3641
	Responsabilidad y Calidad

Cliente: Ana Gabriela Valdés Argueta	Código de muestra: 004
No. Cliente: 01 001	Fecha de ingreso: 15 de enero del 2021
Dirigido a: Ana Gabriela Valdés Argueta	Fecha de informe: 21 de enero del 2021
Persona Responsable: Ana Gabriela Valdés Argueta	Localización: Grifo
Tipo de muestra: Potabilidad	11 avenida, zona 12 Ciudad de Guatemala
Número de orden: 2101011	Toma de muestra: 09:30 Hrs. Del 15 de enero del 2021. Responsable: Ajeno al Laboratorio, Ana Gabriela Valdés Argueta.

ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS

Conclusiones:

- La muestra recibida y analizada en el laboratorio satisface los criterios fisicoquímicos de calidad de la Norma COGUANOR NTG 29 001, Agua Potable; de acuerdo a los parámetros analizados.
- Método de referencia: Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, APHA, AWWA, WWF. 21th Ed. EA. 2005
- Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra cómo fue recibida en el laboratorio.
- La reproducción del mismo deberá ser autorizada por escrito por Valdés Laboratorios. Este informe es válido únicamente en su impresión original.

• Nomenclatura utilizada:

LMA: Límite máximo aceptable
LMP: Límite máximo permisible


LICENCIADO
Rabindranath Valdés Hernández
QUÍMICO BIÓLOGO
COP-1619

Continuación del anexo 6.



Lic. Rabindranath Valdés Hernández | Licda. Edlyn Hortensia Valdés Argueta
 Químico Biólogo, Colegiado 1619 | Química Bióloga, Colegiado 4572
 2A. CALLE 9-50 ZONA 2 CHIGUIMULA, CHIGUIMULA
 Tels.: 7942-3640 7942-3641
Responsabilidad y Calidad

ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA POTABLE

Cliente: Ana Gabriela Valdés Argueta
 No. Cliente: 01 001
 Dirigido a: Ana Gabriela Valdés Argueta
 Persona responsable: Ana Gabriela Valdés Argueta
 Tipo muestra: Potabilidad
 Numero de orden: 2101011
 Fecha informe: 21/01/2021
 Código de muestra: 004
 Localización: 11 avenida, zona 12 Ciudad de Guatemala

ANALISIS FISICO

Parámetros	Resultado	Dimensionales	LMA	LMP
Color	1.6	u Pt/Co	5.0	35.0
Olor	No rechazable		No rechazable	No rechazable
Turbiedad	0.43	NTU	5.0	15.0
Conductividad Electrica	357	mS/cm	780	1500
pH	7.74		7.0-7.5	6.5-8.5
Solidos totales disueltos	376	mg/L	500.0	1000.0

ANALISIS QUIMICO

Parámetros	Resultado	Dimen	LMA	LMP	Parámetro	Resultado	Dimens	LMP
Cloro residual libre	0.811	mg/L	0.5	1.0	Arsénico	—	mg/L	0.010
Cloruro	12.9	mg/L	100	250	Bario	—	mg/L	0.70
Dureza total	130	mg/L	100	500.0	Boro	—	mg/L	0.30
Sulfatos	25	mg/L	100	250.0	Cadmio	—	mg/L	0.003
Aluminio	—	mg/L	0.05	0.100	Cianuro	—	mg/L	0.070
Calcio	26.03	mg/L	75.0	150.0	Cromo total	—	mg/L	0.050
Zinc	—	mg/L	3.0	70.0	Mercurio total	—	mg/L	0.001
Cobre	<0.02	mg/L	0.05	1,500	Plomo	—	mg/L	0.010
Magnesio	15.79	mg/L	50.0	100.0	Selenio	—	mg/L	0.010
Manganeso total	0.015	mg/L	0.1	0.4	Nitrato	8.0	mg/L	50.0
Hierro total	0.017	mg/L	0.3	—	Nitrito	0.004	mg/L	3.0

Con base en la norma COGUANOR NTG 29001

LMA: Limite Maximo Aceptable

LMP: Limite Maximo Permisible

NTU: Unidades Nefelometricas de turbidez

Metodologia con base en:

-Standard Methods for the examination of waster and wastewater APHA, AW WA, WEF 21 st ed 2005.

Revisado: _____

Autorizado: _____

LICENCIADO
 Rabindranath Valdés Hernández
 QUIMICO BIÓLOGO
 Colegiado 1619

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibido en el laboratorio.
 La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por VALDES LABORATORIOS Este informe es válido únicamente en su impresión original

Continuación del anexo 6.



Lic. Rabindranath Valdés Hernández | Licda. Edlyn Hortensia Valdés Argueta
Químico Biólogo, Colegiado 1619 | Química Bióloga, Colegiado 4572
2A. CALLE 9-50 ZONA 2 CHIQUIMULA, CHIQUIMULA
Tels.: 7942-3640 7942-3641

Responsabilidad y Calidad

Cliente: **Ana Gabriela Valdés Argueta**

No. Cliente: 01 001
Dirigido a: Ana Gabriela Valdés Argueta
Persona Responsable: Ana Gabriela Valdés Argueta
Tipo de muestra: Potabilidad
Número de orden: 2101011

Código de muestra: 004
Fecha de ingreso: 15 de enero del 2021
Fecha de informe: 21 de enero del 2021

Localización: **Grifo**
11 avenida, zona 12 Ciudad de Guatemala
Toma de muestra: 09:30 Hrs. Del 15 de enero del 2021. Responsable: Ajeno al Laboratorio, Ana Gabriela Valdés Argueta.

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

Parámetros	Resultado	Dimensional
Fosfato	0.08	mg/L.
Alcalinidad	8.4	mg/L.



- Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, APHA, AWWA, WWF. 21th Ed. 2005
- Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra cómo fue recibida en el laboratorio.
- La reproducción del mismo deberá ser autorizada por escrito por Valdés Laboratorios. Este informe es válido únicamente en su impresión original.
- Nomenclatura utilizada:
NMO: Número Más Probable.


LICENCIADO
Rabindranath Valdés Hernández
QUÍMICO BIÓLOGO
COL. 1619

Nota. Se describe el análisis de agua de emulsión. Obtenido de Laboratorios Valdés S. A. (2021). *Análisis fisicoquímico de agua potable.* p. 1.

Anexo 7.

Certificado penetración ASTM D-5

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA		USAC TRICENTENARIA Universidad de San Carlos de Guatemala
---	--	--	--

INFORME NUMERO: 079 S.S.A. **ORDEN DE TRABAJO:** 40618 **No. 18675**

INTERESADO: ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA
PROYECTO: DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACION COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL

UBICACIÓN: CIUDAD DE GUATEMALA
ENSAYO: PENETRACION ASTM D 5
FECHA: 05 DE FEBRERO DEL 2021
MUESTRA: AC 30 (CEMENTO ASFALTICO)
OBSERVACIONES: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO


PRUEBA	TEMPERATURA	PENETRACION 0.001mm
AC 30	25 °C	43
AC 30 CON 14% DE LECITINA	25 °C	214
AC 30 CON 15% DE LECITINA	25 °C	229.33
AC 30 CON 16% DE LECITINA	25 °C	314

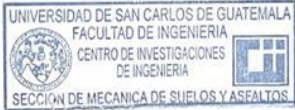
Atentamente,

Omar E. Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS

Vo.Bo.:

Telma Maricela Cano Morales
Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC





FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltránena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Nota. Se presenta el certificado de penetración ASTM D-5. Obtenido de Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. (2021). *Análisis de penetración ASTM D-5.* p. 1.

Anexo 8.

Certificado punto de ablandamiento ASTM D-36



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



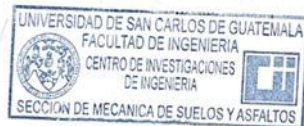
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME NUMERO: 078 S.S.A. ORDEN DE TRABAJO: 40618 NO. 18674

INTERESADO: ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA
PROYECTO: DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACION COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL
DIRECCION: CIUDAD DE GUATEMALA
ENSAYO: PUNTO DE ABLANDAMIENTO ASTM D 36
FECHA: 05 DE FEBRERO DEL 2021
MUESTRA: AC 30 (CEMENTO ASFALTICO)

OBSERVACIONES: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO


ENSAYO	PRUEBA	TEMPERATURA °C
AC 30	1	50
AC 30 CON 14% DE LECITINA	2	40.00
AC 30 CON 15% DE LECITINA	3	39.00
AC 30 CON 16% DE LECITINA	4	37.5



Atentamente,

Vo.Bo.


Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS


Inga. Telma Mariçela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC




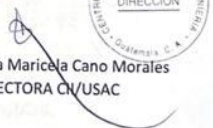
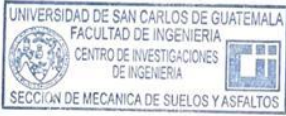


FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Nota. Se presenta el certificado de punto de ablandamiento ASTM D-36. Obtenido de Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. (2021). *Análisis de ablandamiento ASTM D-5*. p. 1.

Anexo 9.

Certificado ductilidad ASTM D-113

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA																
		No. 18673															
INFORME NUMERO:	077 S.S.A.	ORDEN DE TRABAJO: 40618															
INTERESADO:	ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA																
PROYECTO:	DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACION COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL																
UBICACIÓN:	CIUDAD DE GUATEMALA																
ENSAYO:	DUCTILIDAD ASTM D 113																
FECHA:	05 DE FEBRERO DEL 2021																
MUESTRA:	AC 30 (CEMENTO ASFALTICO)																
OBSERVACIONES:	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO																
<table border="1"><thead><tr><th>PRUEBA</th><th>TEMPERATURA</th><th>LONGITUD DE ELONGACION</th></tr></thead><tbody><tr><td>AC 30</td><td>25 °C</td><td>>100</td></tr><tr><td>AC 30 CON 14% DE LICITINA</td><td>25 °C</td><td>>100</td></tr><tr><td>AC 30 CON 15% DE LICITINA</td><td>25 °C</td><td>>100</td></tr><tr><td>AC 30 CON 16% DE LICITINA</td><td>25 °C</td><td>>100</td></tr></tbody></table>			PRUEBA	TEMPERATURA	LONGITUD DE ELONGACION	AC 30	25 °C	>100	AC 30 CON 14% DE LICITINA	25 °C	>100	AC 30 CON 15% DE LICITINA	25 °C	>100	AC 30 CON 16% DE LICITINA	25 °C	>100
PRUEBA	TEMPERATURA	LONGITUD DE ELONGACION															
AC 30	25 °C	>100															
AC 30 CON 14% DE LICITINA	25 °C	>100															
AC 30 CON 15% DE LICITINA	25 °C	>100															
AC 30 CON 16% DE LICITINA	25 °C	>100															
Atentamente,																	
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS	Vo.Bo.:	 Inga. Telma Maricela Cano Morales DIRECTORA CI/USAC															
																	
FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC- Edificio Emilio Beltrana, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252 Página web: http://cii.usac.edu.gt																	

Nota. Se presenta el certificado de ductilidad ASTM D-113. Obtenido de Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. (2021). *Análisis de ductilidad ASTM D-5*. p. 1.

Anexo 10.

Certificado viscosidad dinámica ASTM D-4402



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME NUMERO: 076 S.S.A. ORDEN DE TRABAJO: 40618

No. 18672

INTERESADO: ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA
PROYECTO: DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPIDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACION COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL

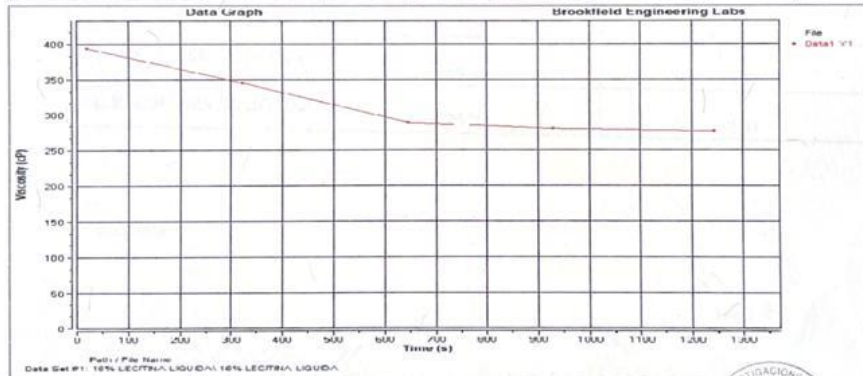
DIRECCION: CIUDAD DE GUATEMALA
ENSAYO: VISCOSIDAD DINAMICA D-4402

FECHA: 05 DE FEBRERO DEL 2021

MUESTRA: LECITINA AL 16%

OBSERVACIONES: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO

PUNTO (#)	TIEMPO (hh:mm:ss)	VISCOSIDAD (cP)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	ESFUERZO DE CORTE (dyn/cm ²)	VELOCIDAD DE CORTE (1/s)	TEMPERATURA (°C)	TERMO CELDA (°C)
1	00:00:22.6	393.3	15.00	11.8	54.87	13.95	134.5	134.6
2	00:05:21.6	344.6	140.00	96.5	448.7	130.2	135.2	135.2
3	00:10:45.8	289.4	170.00	98.4	457.6	158.1	134.9	135.1
4	00:15:31.5	280.3	170.00	95.3	443.1	158.1	135.1	135.1
5	00:20:45.7	276.7	178.00	98.5	458.0	165.5	135.2	135.2



Atentamente,

Vo.Bo.:

Omar Enrique Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS

Telma Maricela Cano Morales
Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA -USAC-
Edificio Emilio Betti, Ciudad Universitaria zona 12
SECCION DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS
teléfono: 2418-9315 / 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cil.usac.edu.gt>

Continuación del anexo 10.

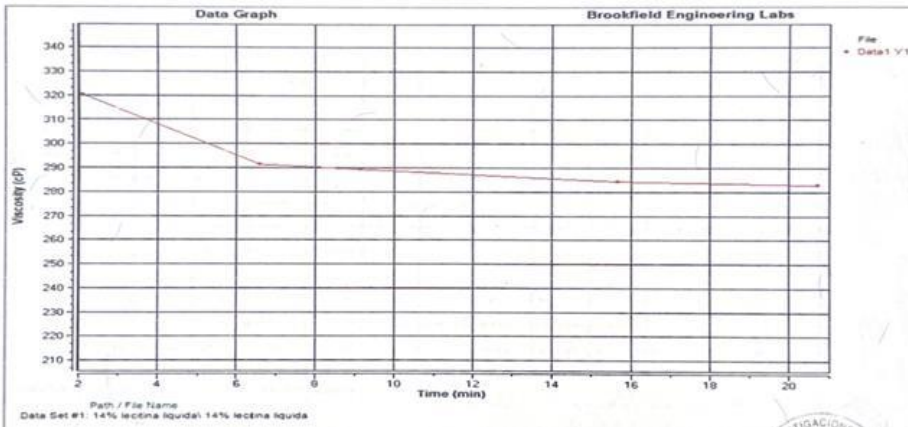


CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME NUMERO: 074 S.S.A. ORDEN DE TRABAJO: 40618 No. 18670
 INTERESADO: ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA
 PROYECTO: DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPIDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACION COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL
 DIRECCION: CIUDAD DE GUATEMALA
 ENSAYO: VISCOSIDAD DINAMICA D-4402
 FECHA: 05 DE FEBRERO DEL 2021
 MUESTRA: LECITINA AL 14%
 OBSERVACIONES: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO

PUNTO (#)	TIEMPO (hh:mm:ss)	VISCOSIDAD (cP)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	ESFUERZO DE CORTE (dyn/cm ²)	VELOCIDAD DE CORTE (1/s)	TEMPERATURA (°C)	TERMO CELDA (°C)
1	00:02:06.6	320.4	140.00	89.7	417.1	130.2	135.0	135.0
2	00:06:35.1	291.3	150.00	87.4	406.4	139.5	135.1	135.2
3	00:09:07.2	289.3	150.00	86.8	403.6	139.5	134.7	134.8
4	00:15:41.8	284.3	150.00	85.3	396.6	139.5	135.1	135.1
5	00:20:42.4	283.0	150.00	84.9	394.8	139.5	135.1	135.1



Atentamente,

Vo.Bo.:


Omar E. Medrano Méndez
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS

Telma Maricela Cano Morales
 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
 Edificio Emilio Barahona, Ciudad Universitaria zona 12
 SECCION DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS
 Teléfono: 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
 Págs. web: http://cii.usac.edu.gt

Continuación del anexo 10.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

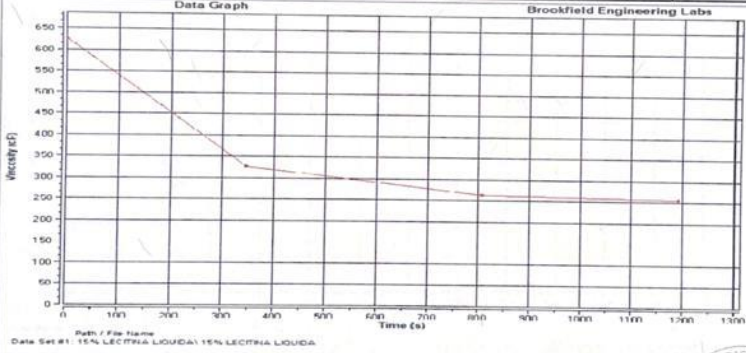


USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME NUMERO: 075 S.S.A. **ORDEN DE TRABAJO:** 40618 **No. 18671**
INTERESADO: ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA
PROYECTO: DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPIDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACION COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL
DIRECCION: CIUDAD DE GUATEMALA
ENSAYO: VISCOSIDAD DINAMICA D-4402
FECHA: 05 DE FEBRERO DEL 2021
MUESTRA: LECITINA AL 15%
OBSERVACIONES: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO


PUNTO (#)	TIEMPO (hh:mm:ss)	VISCOSIDAD (cP)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	ESFUERZO DE CORTE (dyn/cm ²)	VELOCIDAD DE CORTE (1/s)	TEMPERATURA (°C)	TERMO CELDA (°C)
1	00:00:01.8	624.6	65.00	81.2	377.6	60.45	135.2	135.2
2	00:05:46.8	327.0	150.00	98.1	456.2	139.5	134.7	134.9
3	00:13:26.8	263.9	180.00	95.0	441.8	167.4	135.1	135.1
4	00:19:52.4	256.8	185.00	95.0	441.8	172.1	135.1	135.2

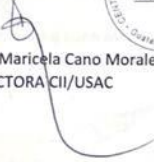
Data Graph Brookfield Engineering Labs




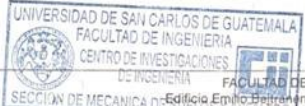
Path: / File Name: Data Set #1: 15% LECITINA LIQUIDA\ 15% LECITINA LIQUIDA

Atentamente, Vo.Bo.:


Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS


Inga. Telma Maricela Cano Morales
 DIRECTORA CII/USAC







UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCION DE MECANICA - Edificio Emilio Enriquez, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Nota. Se presenta el certificado de viscosidad dinámica ASTM D-4402. Obtenido de Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. (2021). *Análisis de viscosidad dinámica ASTM D-4402.* p. 1.

Anexo 11.

Certificado granulometría ASTM 6913


	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
INFORME NUMERO: 080 S.S.A.	ORDEN DE TRABAJO: 40618	No. 18676
INTERESADO: ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA	DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACION COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL	
PROYECTO:	CIUDAD DE GUATEMALA	
DIRECCION:	GRANULOMETRIA ASTM 6913	
ENSAYO:	05 DE FEBRERO DEL 2021	
FECHA:	AC 30 (CEMENTO ASFALTICO)	
MUESTRA:	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO	
OBSERVACIONES:		


PRUEBA	TEMPERATURA	VISCOSIDAD cSt
AC 30	135 °C	458
AC 30 CON 14% DE LECITINA	135 °C	283
AC 30 CON 15% DE LECITINA	135 °C	276
AC 30 CON 16% DE LECITINA	135 °C	256


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCION DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS

Atentamente,

Vo.Bo.:


Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS


Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltránena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121, Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Nota. Se presenta el certificado de granulometría ASTM 6913. Obtenido de Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. (2021). *Análisis de granulometría ASTM 6913*. p. 1.

Anexo 11.

Certificado carga de partículas, tiempo de rompimiento D-244, asentamiento D-6930

PRUEBA	CARGA DE PARTICULA	TIEMPO DE ROMPIMIENTO	ASENTAMIENTO 24 h
AC 30 CON ASFIER	+	LENTO	1.32
AC 30 CON 14% DE LECITINA	+	LENTO	6.3
AC 30 CON 15% DE LECITINA	+	LENTO	6.7
AC 30 CON 16% DE LECITINA	+	LENTO	6.9

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCION DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS

Atentamente,

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS

Vo.Bo.:

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC

USAC TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME NUMERO: 084 S.S.A. ORDEN DE TRABAJO: 40618 No. 18680

INTERESADO: ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA

PROYECTO: DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LÍPIDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACION COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL

DIRECCION: CIUDAD DE GUATEMALA

ENSAYO: CARGA DE PARTICULAS Y TIEMPO DE ROMPIMIENTO D244 ; ASENTAMIENTO ASTM D 6930

FECHA: 05 DE FEBRERO DEL 2021

MUESTRA: EMULSION ASFIER 240 CON AC 30



OBSERVACIONES: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Nota. Se presenta el certificado de carga de partículas, tiempo de rompimiento D-244, asentamiento D-6930. Obtenido de Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. (2021). Análisis de carga de partículas, rompimiento y asentamiento. ASTM D-5. p. 1.

Anexo 12.

Certificado viscosidad Saybolt Furol ASTM D-244


	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA		USAC TRICENTENARIA Universidad de San Carlos de Guatemala
INFORME NUMERO:	082 S.S.A.	ORDEN DE TRABAJO:	No. 40618 18678
INTERESADO:	ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA		
PROYECTO:	DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACION COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL		
DIRECCION:	CIUDAD DE GUATEMALA		
ENSAYO:	VISCOSIDAD SAYBOLT FÚROL ASTM D 244		
FECHA:	05 DE FEBRERO DEL 2021		
MUESTRA:	EMULSION ASFIER 240 CON AC 30		
OBSERVACIONES:	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO		
ENSAYO	TEMPERATURA	VISCOSIDAD cp	
AC 30 CON ASFIER	25 °C	29.54	
AC 30 CON 14% DE LECITINA	25 °C	106.00	
AC 30 CON 15% DE LECITINA	25 °C	102.00	
AC 30 CON 16% DE LECITINA	25 °C	98	


Atentamente,

Vo.Bo.:

Ing. Omar Enrique Mégrano Méndez
JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS

Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC





 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio Emilio Beltrarena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Nota. Se presenta el certificado de viscosidad Saybolt Furol ASTM D-244. Obtenido de Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. (2021). *Análisis de Saybolt Furol ASTM D-244*. p. 1.

Anexo 13.

Certificado tamizado malla #20

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA		USAC TRICENTENARIA Universidad de San Carlos de Guatemala
---	--	---	--

INFORME NUMERO: 083 S.S.A. **ORDEN DE TRABAJO:** 40618 **No. 18679**

INTERESADO: ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA

PROYECTO: DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACIÓN COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL

UBICACIÓN: CIUDAD DE GUATEMALA


ENSAYO: TAMIZADO MALLA # 20 ASTM D 6923

FECHA: 05 DE FEBRERO DEL 2021


MUESTRA: EMULSION ASFIER 240 CON AC 30

OBSERVACIONES: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO


PRUEBA	PRUEBA	% RETENIDO
AC 30 CON ASFIER	1.00	0.03
AC 30 CON 14% DE LECITINA	1.00	0.05
AC 30 CON 15% DE LECITINA	1.00	0.07
AC 30 CON 16% DE LECITINA	1.00	0.08




Atentamente,


Ing. Omar Enrique Médrano Méndez
JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS

Vo.Bo.:


Inga. Telma Marcela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC





FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Nota. Se presenta el certificado de tamizado malla #20. Obtenido de Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. (2021). *Análisis de tamizado malla #20*. p. 1.

Anexo 14.

Certificado visualización y pH ASTM D-244

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
---	--	--

INFORME NUMERO: 081 S.S.A. **ORDEN DE TRABAJO:** 40618 **No. 18677**

INTERESADO: ANA GABRIELA VALDÉS ARGUETA

PROYECTO: DISEÑO DE UNA EMULSIÓN DEL TIPO CSS1-H, UTILIZANDO LECITINA DE SOYA COMO UNA FRACCIÓN LIPÍDICA DE UN ACEITE VEGETAL Y SU EVALUACION COMPARATIVA CON UNA EMULSIÓN DEL AGENTE COMERCIAL

UBICACIÓN: CIUDAD DE GUATEMALA

ENSAYO: VISUALIZACIÓN Y PH ASTM D224

FECHA: 05 DE FEBRERO DEL 2021

MUESTRA: EMULSION ASFIER 240 CON AC 30

OBSERVACIONES: MUESTRA PROPORCIONADA POR EL INTERESADO


PRUEBA	VISUALIZACIÓN	PH
AC 30 CON ASFIER	SE OBSERVA UNA MUESTRA HOMOGENEA	2.0
AC 30 CON 14% DE LECITINA	SE OBSERVA UNA MUESTRA HOMOGENEA	7.8
AC 30 CON 15% DE LECITINA	SE OBSERVA UNA MUESTRA HOMOGENEA	7.8
AC 30 CON 16% DE LECITINA	SE OBSERVA UNA MUESTRA HOMOGENEA	7.8


Atentamente,

Omar E. Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
JEFE SECCIÓN MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTOS

Vo.Bo.:

Telma Marcela Cano Morales
Inga. Telma Marcela Cano Morales
DIRECTORA CII/USAC





FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltrana, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Nota. Se presenta el certificado de visualización y pH ASTM D-244. Obtenido de Centro de Investigaciones de Ingeniería. USAC. (2021). *Análisis de visualización y ph ASTM D-244.* p. 1.