



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

**ANÁLISIS DE UN PRODUCTO A BASE DE POLÍMEROS COMO
ESTABILIZADOR QUÍMICO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
CAMINOS NO PAVIMENTADOS**

Javier Marco Tulio Méndez González

Asesorado por el Ing. Omar Enrique Medrano Méndez

Guatemala, agosto de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE UN PRODUCTO A BASE DE POLÍMEROS COMO
ESTABILIZADOR QUÍMICO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
CAMINOS NO PAVIMENTADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JAVIER MARCO TULIO MÉNDEZ GONZÁLEZ

ASESORADO POR EL ING. OMAR ENRIQUE MEDRANO MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Agilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enriquez Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Walter Rolando Salazar González
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí 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:

ANÁLISIS DE UN PRODUCTO A BASE DE POLÍMEROS COMO ESTABILIZADOR QUÍMICO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 4 de mayo de 2016.

Javier Marco Tulio Méndez González

Guatemala, 16 de mayo 2018

Ingeniero
José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

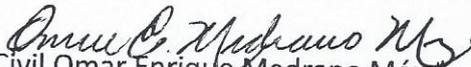
Ingeniero Ordóñez Morales.

Le saludo cordialmente, el motivo de la presente es para informarle que el trabajo de graduación **"ANÁLISIS DE UN PRODUCTO A BASE DE POLÍMEROS COMO ESTABILIZADOR QUÍMICO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS"**, elaborado por el estudiante de ingeniería civil Javier Marco Tulio Méndez González, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular,

Atentamente

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Civil Omar Enrique Medrano Méndez
Colegiado 6842
Jefe de Sección Mecánica de Suelos

Omar Enrique Medrano Méndez
Ingeniero Civil
Colegiado No. 6842



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
23 de julio de 2018

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

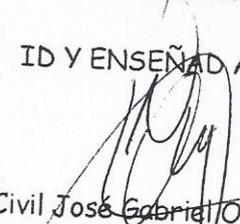
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS DE UN PRODUCTO A BASE DE POLÍMEROS COMO ESTABILIZADOR QUÍMICO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Javier Marco Tulio Méndez González quien contó con la asesoría del Ing. Omar Enrique Medrano Méndez.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.

Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Omar Enrique Medrano Méndez y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Javier Marco Tulio González ANÁLISIS DE UN PRODUCTO A BASE DE POLÍMEROS COMO ESTABILIZADOR QUÍMICO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, Agosto 2018

/mmm.

Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua

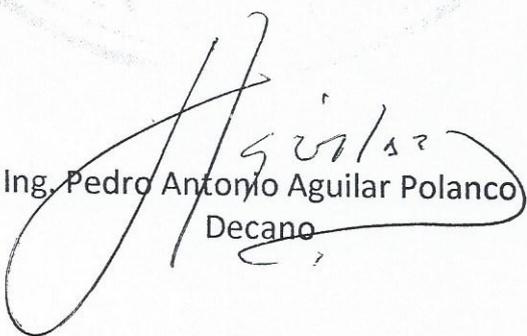




DTG. 310.2018

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 Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE UN PRODUCTO A BASE DE POLÍMEROS COMO ESTABILIZADOR QUÍMICO DE SUELOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS**, presentado por el estudiante universitario: **Javier Marco Tulio Méndez González**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, agosto de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme permitido llegar hasta este punto, haberme guiado a lo largo de mi carrera y dado salud para lograr mis objetivos.
- Mis padres** Marco Tulio Méndez y Magda González de Méndez. Por ser mí ejemplo para salir adelante, por darme su apoyo incondicional, sus consejos, por la motivación constante, pero principalmente, por su amor.
- Mis hermanas** Surama, Jessica y Elizabeth Méndez, por su ejemplo y su apoyo incondicional durante mi tiempo de estudio.
- Mi prometida** Mireya Girón, por tu paciencia y apoyo durante este proceso, tus cuidados y tu amor pero sobre todo por creer siempre en mí.
- Mi abuelita** Lolita Galindo, por sus cuidados, atenciones y el gran amor que me ha demostrado en la vida.
- Mis tías y tíos** Por estar siempre en los momentos importantes de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haberme permitido formarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por ser una importante influencia en mi carrera, y darme las herramientas para mi formación académica.
Mis amigos de la facultad	Por los momentos de felicidad compartidos durante nuestro tiempo de estudio, por apoyarme en las buenas y en las malas.
Mi asesor	Ing. Omar Medrano, por compartir sus conocimientos y por su valiosa ayuda en la elaboración de este trabajo de graduación

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES	1
1.1. Definición de polímeros	1
1.2. Definición de aditivos poliméricos.....	2
1.3. Descripción de las propiedades químicas del aditivo a base de polímeros.....	6
1.4. Aditivos utilizados para estabilización de suelos	8
2. ANTECEDENTES	11
2.1. Historia de los polímeros en la construcción	11
2.2. Utilización de productos a base de polímeros en la construcción de carreteras no pavimentadas	12
3. ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS CON UN PRODUCTO A BASE DE POLÍMEROS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS.....	15
3.1. Generalidades de la construcción de carreteras no pavimentadas	15

3.1.1.	Máquinas por utilizar en la construcción de carreteras no pavimentadas	15
3.1.2.	Maquinaria de corte y excavación	15
3.1.2.1.	Tractores para obras de tierra	15
3.1.2.2.	Excavadoras.....	17
3.1.2.3.	Cargador frontal	18
3.1.2.4.	Retroexcavadoras	19
3.1.3.	Maquinaria de acarreo	20
3.1.3.1.	Motoniveladora.....	20
3.1.4.	Maquinaria de compactación.....	21
3.1.4.1.	Vibrocompactadoras	21
3.1.4.2.	Compactador pata de cabra.....	22
3.1.4.3.	Compactadores neumáticos.....	23
3.1.5.	Ventajas de la aplicación y uso de aditivos poliméricos	24
3.1.6.	Método de aplicación de aditivos poliméricos en campo.....	26
3.2.	Especificaciones del estudio	26
3.2.1.	Materiales a utilizar en el estudio	26
3.2.2.	Generalidades del aditivo polimérico a estudiar	27
3.2.3.	Especificaciones del fabricante para el aditivo a estudiar.....	28
3.2.4.	Determinación de la proporción agua/aditivo polimérico.....	29
4.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	31
4.1.	Ensayos efectuados.....	31
4.1.1.	Clasificación de suelos Norma AASHTO M-145	31

4.1.2.	Análisis granulométrico por cribado (Norma AASHTO T-27)	31
4.1.3.	Límites de Atterberg	32
4.1.4.	Índice de plasticidad (Norma AASHTO T-89, T-90)	34
4.1.5.	Ensayo de compactación proctor modificado (Norma AASHTO T-180)	35
4.1.6.	Valor soporte California (Norma AASHTO T-193) ..	35
4.1.7.	Permeabilidad del suelo (Norma ASTM D5856)	37
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
5.1.	Tablas comparativas de los resultados entre material en su estado natural y material tratado con un producto polimérico	39
5.1.1.	Resultados materiales en estado natural.....	39
5.1.1.1.	Clasificación de los suelos.....	39
5.1.1.2.	Límites de Atterberg	40
5.1.1.3.	Análisis granulométrico.....	40
5.1.1.4.	Coefficiente de permeabilidad	41
5.1.1.5.	Compactación Proctor	42
5.1.1.6.	Valor soporte California (CBR)	42
5.1.2.	Resultados materiales tratados con un producto polimérico	43
5.1.2.1.	Determinación de proporción aditivo polimérico y agua.....	43
5.1.2.1.1.	Muestra 1	43
5.1.2.1.2.	Muestra 2	45
5.1.2.1.3.	Muestra 3	46

5.2.	Gráficos comparativos de resultados obtenidos entre el material en su estado natural y tratado con el aditivo polimérico en estudio	48
5.3.	Análisis comparativo de resultados obtenidos	55
CONCLUSIONES.....		59
RECOMENDACIONES		61
BIBLIOGRAFÍA.....		63
ANEXOS.....		65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tractor de banda.....	17
2.	Excavadora	18
3.	Cargador frontal	19
4.	Retroexcavadoras	20
5.	Motoniveladora.....	21
6.	Vibrocompactadora	22
7.	Compactador pata de cabra.....	23
8.	Compactador neumático	24
9.	Curva granulométrica	32
10.	Límites de consistencia.....	33
11.	Copa de Casagrande	34
12.	Equipo para ensayo CBR.....	37
13.	Permeámetro de compactación de pared rígida	38
14.	Peso unitario seco máximo vs % humedad, muestra 1	44
15.	Peso unitario seco máximo vs % humedad, muestra 2.....	45
16.	Peso unitario seco máximo vs % humedad, muestra 3.....	46
17.	Coeficiente de permeabilidad vs días de curado, muestra 1	49
18.	Coeficiente de permeabilidad vs días de curado, muestra 2.....	50
19.	Coeficiente de permeabilidad vs días de curado, muestra 3.....	51
20.	Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 1	52
21.	Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 2	53
22.	Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 3	54

TABLAS

I.	Especificaciones técnicas del aditivo	28
II.	Relación agua: aditivo propuesta.....	29
III.	Clasificación de los suelos muestreados	39
IV.	Clasificación según plasticidad de los suelos muestreados.....	40
V.	Análisis granulométrico de suelos.....	41
VI.	Coeficiente de permeabilidad	41
VII.	Características básicas de compactación Proctor modificado	42
VIII.	Valor Soporte California (CBR)	43
IX.	Compactación Proctor modificado con proporción propuesta.....	44
X.	Compactación Proctor modificado con proporción propuesta.....	45
XI.	Compactación Proctor modificado con proporción propuesta.....	46
XII.	Tabla comparativa resultados compactación Proctor modificado con y sin polímero	47
XIII.	Coeficiente de permeabilidad	47
XIV.	Valor Soporte California (CBR).....	48
XV.	Coeficiente de permeabilidad, muestra 1	49
XVI.	Coeficiente de permeabilidad, muestra 2.....	50
XVII.	Coeficiente de permeabilidad, muestra 3.....	51
XVIII.	Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 1	52
XIX.	Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 2	53
XX.	Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 3	54

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
°C	Grados centígrados
IP	Índice de plasticidad
kg	Kilogramo
LL	Límite líquido
ML	Limo de baja plasticidad
m	Metro
m³	Metro cúbico
NP	No plástico
P.U.S.	Peso unitario seco
s	Segundo

GLOSARIO

Resina termofraguable	Aquellas que solamente son blandas o "plásticas" al calentarlos por primera vez. Después de enfriados no pueden recuperarse para transformaciones posteriores.
Melamina	Es una molécula que se utiliza como base en los procesos de síntesis para fabricar resinas, plásticos o pegamentos.
Tereftalatos	Son una familia de compuestos químicos que se usan principalmente para producir cloruro de polivinilo (PVC) o de vinilo flexible y maleable.
Resina epóxica	Es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor.
Fragilización	Pérdida de ductilidad de un metal o una aleación, que puede llevar a su rotura.
Hidroperóxido	Derivados químicos de peróxido del hidrógeno en el que un átomo de hidrógeno es reemplazado por un grupo organyl.

Poliiolefinas	Son termoplásticos parcialmente cristalinos del grupo de los plásticos estándar.
Poliestireno	Es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno monómero.
Poliuretano	Es un polímero que se obtiene mediante condensación de bases hidroxílicas combinadas con diisocianatos.
Ésteres	Son compuestos orgánicos derivados de petróleo o inorgánicos oxigenados en los cuales uno o más protones son sustituidos por grupos orgánicos alquilo.
Peso molecular	Masa de una molécula de cualquier sustancia pura, cuyo valor es el de la suma de los átomos que la componen.
Disolución	Es la mezcla homogénea resultante tras disolver cualquier sustancia en un líquido.
Reología	Es la rama de la física de medios continuos que se dedica al estudio de la deformación y el flujo de la materia.
Escoria de alto horno	La escoria de alto horno se obtiene de la fundición del mineral de hierro en un alto horno.
Clasto	Trozos o granos de rocas preexistentes que forman una roca sedimentaria detrítica o clástica.

Ángulo de esviaje	Oblicuidad de la superficie de un muro o del eje de una bóveda respecto al frente de la obra de que forman parte.
Trincheras	Corte hecho en el terreno, con taludes a ambos lados, para construir una vía de comunicación, como una autopista o una vía férrea.
Consistencia	Grado de cohesión que poseen las partículas de los suelos arcillosos.
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.
Estabilizar	Somete un suelo natural a determinado procedimiento para poder mejorar sus características y propiedades.
Plasticidad	Propiedad que poseen algunos suelos de deformarse sin agrietarse ni producir rebote elástico.
Suelo natural	Suelo que no ha recibido ningún tipo de tratamiento para modificar sus propiedades.
Curado	Algo endurecido, seco, fortalecido o curtido.
Estabilización química	Acción de un compuesto químico al ser agregado a un suelo, que lo altera mejorando sus propiedades ingenieriles.

RESUMEN

Se desarrolló una investigación acerca de las propiedades físico-mecánicas, que poseen tres tipos de suelos en Guatemala usados en caminos no pavimentados. Luego se compararon los resultados obtenidos con los suelos estudiados, con la diferencia que se aplicó un aditivo a base de polímeros, el cual se asume, por sus propiedades químicas, estabiliza el suelo aportando una mayor capacidad de carga y un menor porcentaje de permeabilidad.

Dicha investigación se realizará con base en investigaciones previas acerca de los aditivos químicos a base de polímeros y con los ensayos de laboratorio de suelos, con los cuales se determinó si el aditivo a base de polímeros funcionó positivamente estabilizando el suelo y a la vez disminuyendo su porcentaje de permeabilidad, lo cual se traduce en un suelo con menores deformaciones por el paso de tráfico vehicular. Estas dos propiedades combinadas resultan adecuadas para la utilización en un camino con tráfico vehicular.

Así mismo, debido a la gran cantidad de aditivos que existen en el mercado que pretenden aportar las mismas (y en ocasiones más) ventajas que los materiales tradicionales para estabilizar suelos, se debe establecer el medio por el cual, el polímero en estudio, se puede determinar la cantidad de aditivo necesario en cualquier suelo al que se le deseen mejorar sus propiedades mecánicas.

OBJETIVOS

General

Analizar el uso de un producto a base de polímeros, como estabilizador químico de suelo, para la construcción de carreteras no pavimentadas.

Específicos

1. Investigar las propiedades de un aditivo polimérico, así como las características que aporta en la aplicación a un suelo.
2. Definir las proporciones de agua/aditivo que requiere cada suelo para el mejor desempeño de las propiedades mecánicas del mismo.
3. Analizar resultados obtenidos de la caracterización de un suelo y su desempeño mecánico sin el uso del aditivo polimérico.
4. Analizar resultados obtenidos de la caracterización de un suelo y su desempeño mecánico con el uso del aditivo polimérico.
5. Determinar el hinchamiento del suelo con el uso del aditivo polimérico o sin él.
6. Comparar los resultados obtenidos de la caracterización de los suelos con aditivos y sin aditivos.

INTRODUCCIÓN

Los caminos no pavimentados sufren deterioro por el paso de tráfico vehicular y su alto porcentaje de permeabilidad, aun si se estabilizan mediante métodos mecánicos. Estos suelos, por si solos, no suelen poseer un valor de soporte necesario para el uso que una carretera de terracería requiere y si a esto se le suma su alto porcentaje de permeabilidad, disminuye el tiempo de vida útil.

Existe una gran variedad de aditivos hechos a base de polímeros en el mercado, sin embargo, pocos cuentan con metodologías para su correcto uso, así como un soporte científico que garantice a través de pruebas las características que ofrecen, y en el caso de Guatemala que cuenta con un clima particular en cada región del país, resulta importante conocer el desempeño del mismo en el ámbito nacional.

La programación de las dependencias e instituciones a cargo del mantenimiento vial en el país incluye los mantenimientos preventivo y correctivo. Lamentablemente rara vez se realiza el trabajo programado porque lo impide la burocracia o por los materiales que se utilizaron, que en la mayoría de los casos, resulta costoso y poco efectivo en el largo plazo, por lo que se termina requiriendo de materiales con características adecuadas para una carretera duradera, condición que de ser efectivo el aditivo propuesto, cambiaría evitando el traslado de material adecuado.

1. GENERALIDADES

1.1. Definición de polímeros

Los polímeros son compuestos sintéticos o naturales formados a partir de la repetición de una unidad estructural llamada monómero. De acuerdo con la cantidad de unidades repetitivas se pueden clasificar en:

- Homopolímeros. Solo una unidad repetitiva
- Copolímeros. Dos o más unidades
- Heteropolímeros. Formados por dos o más monómeros distintos

De acuerdo con su origen, estos pueden ser:

- Naturales. Son los que se encuentran presentes en la naturaleza.
- Sintéticos. Son los que se obtienen por vía puramente sintética a partir de sustancias de bajo peso molecular, como por ejemplo el nailon.
- Artificiales. Son el resultado de modificadores mediante procesos químicos de ciertos polímeros naturales.

Así mismo, los polímeros se pueden clasificar de acuerdo con su estructura:

- Lineal
- Ramificada
- Entrecruzada
- Estrella
- Peine

- Escalera

1.2. Definición de aditivos poliméricos

Estos materiales se incluyen en la formulación de los polímeros para modificar y mejorar sus propiedades físicas, mecánicas y de manufactura.

- Rellenos. Los rellenos son sustancia o compuestos de origen natural o sintético. Es más común su uso en las resinas termofraguables, como las fenólicas, las de urea y las melaninas, aunque también se emplean en algunos termoplásticos. Los rellenos que se agregan en cantidades grandes se llaman “dilatadores”, pues permiten la producción de un gran volumen del polímero a partir de una cantidad pequeña de resina, con lo cual se reduce el costo del polímero. Debido a que las propiedades de un polímero dilatado suelen disminuir, su uso se limita a las aplicaciones menos críticas. Uno de los rellenos de uso más extendido es la harina de madera. El carbonato de calcio, la sílice y la arcilla son rellenos del tipo inorgánico (minerales).
- Plastificantes. Los plastificantes se utilizan, en general, para aumentar la flexibilidad y elasticidad de los polímeros, así como su flujo en condiciones de fusión. Un plastificante no está unido químicamente al polímero, sino que actúa como lubricante interno, reduciendo las fuerzas en los enlaces van der Waals entre las cadenas poliméricas y separando las cadenas para impedir que se entrelacen. Sin los plastificantes, sería imposible fabricar láminas, tubos, películas y otras formas flexibles. Por regla general, cuanto más grande es la proporción de plastificante en los polímeros, mayor es la flexibilidad que se consigue. Los plastificantes para uso general que gozan

de más preferencias son los ftalatos, aunque también se utilizan epóxicos, fosfatos, diésteres adípicos y poliésteres.

- Estabilizadores térmicos. Los estabilizadores térmicos impiden la degradación de los polímeros durante su tratamiento, cuando la masa fundida se somete a temperaturas altas. El PVC es particularmente propenso a degradarse durante su tratamiento, por lo que es un consumidor de primera magnitud de estabilizadores térmicos. En general, se usan estabilizadores líquidos para el PVC flexible, ejemplo, los líquidos de bario y zinc. Otros polímeros que estabilizadores son el PE clorado y las mezclas de ABS.

- Antioxidantes. Los antioxidantes protegen los materiales contra el deterioro por oxidación provocada por calor, luz y mecanismos inducidos químicamente. El deterioro se manifiesta como fragilización, inestabilidad de flujo de la masa fundida, pérdida de propiedades de tensión y cambio de color. Los tres mecanismos preventivos principales para controlar el deterioro de los polímeros son:
 - Absorción o filtración de la luz ultravioleta.
 - Desactivación de los iones metálicos.
 - Descomposición de los hidroperóxidos en productos que no son radicales.

- Absorbedores de luz ultravioleta (UV). Estabilizan el color y prolongan la duración del producto. Prácticamente todos los polímeros se degradan de diversas formas al exponerse a la luz solar; las más comunes son el cambio de color y la pérdida de propiedades físicas. Los polímeros que son particularmente susceptibles a este tipo de degradación son las

poliolefinas, poliestireno, PVC, ABS, los poliésteres y los poliuretanos. El absorbedor de UV más eficaz es el color negro, ya sea en forma de negro de humo, de pintura negra o de tinte negro. Sin embargo, no se puede emplear en todos los casos. Por consiguiente, se utilizan diversos productos químicos, algunos de los cuales son las benzofenonas, el complejo de níquel de un fenol alquilado con impedimento estérico, los benzotriazoles y los fotoestabilizadores de amina impedida (FEAI ó HALS, siglas en inglés).

- Agentes antiestáticos. Los agentes antiestáticos, llamados también desestabilizadores, se utilizan para reducir la acumulación de cargas electroestáticas en la superficie de los polímeros debido a su inherente mala conductividad eléctrica. Estos agentes sirven para atraer humedad a fin de aumentar la conductividad superficial y, de, esta forma, reducir la probabilidad de que se produzca una chispa o una descarga. Los trajes espaciales de los astronautas contienen agentes antiestáticos para impedir que se produzcan descargas eléctricas capaces de dañar los delicados componentes electrónicos del transbordador espacial. Los polímeros particularmente susceptibles a la acumulación de cargas eléctricas son: polietileno, polipropileno, poliestireno, nylon, poliéster, uretanos, celulósicos, acrílicos y acrilonitrilos. Los agentes antiestáticos más comunes son aminas, compuestos cuaternarios de amonio, ésteres fosfóricos y ésteres de polietilenglicol
- Agentes de acoplamiento. Se agregan para mejorar la adhesión de los polímeros a los materiales de relleno inorgánicos, como los filamentos o fibras de vidrio. Los más utilizados son los silanos y titanatos.

- Agentes retardantes de flama. Se agregan para reducir la inflamabilidad de los polímeros; la acción de estos agentes consiste en aislar el polímero, crear una reacción endotérmica enfriadora, recubrir el polímero para excluir el oxígeno, o influir efectivamente en la combustión mediante una reacción con materiales que tienen diferentes propiedades físicas. Los retardantes pueden ser inorgánicos, como la alúmina trihidratada, óxido de antimonio o borato de zinc y orgánicos como ésteres fosfóricos y compuestos halogenados de diversos tipos. La alúmina es el retardante de flama de uso más extendido, y es muy eficaz en los polímeros termoestables y ciertos termoplásticos. Los retardantes basados en bromo y cloro, por razones de toxicidad, se están sustituyendo por otros agentes químicos a base de fosforo.

- Agentes insuflantes. Se utilizan solos o en combinación con otras sustancias para crear una estructura celular (espuma). Los agentes insuflantes químicos van desde sales simples, como bicarbonato de amonio o de sodio, hasta complejos agentes liberadores de nitrógeno. Estos últimos son los que más se utilizan, por ejemplo la azodicarbonamida, Nnitroso y las sulfonil-hidracidas.

- Lubricantes. Se utilizan para facilitar la elaboración de los polímeros y mejorar la apariencia del producto final. Para ser eficaces, los lubricantes deben ser compatibles con los polímeros a los que se agregan, no afectar adversamente las propiedades del producto final y combinarse sin dificultad. Los lubricantes más comunes son:
 - Estearatos metálicos
 - Amidas y ésteres de ácidos grasos
 - Ceras hidrocarbonadas

- Polietileno de bajo peso molecular
- Colorantes. Los colorantes deben impartir colores firmes a la luz, temperatura, humedad, productos químicos, etc., pero sin reducir otras propiedades deseables, como el flujo durante su tratamiento, la resistencia a adquirir una apariencia terrosa y al microagrietamiento superficial, y la resistencia al impacto. Pueden emplearse tintes y pigmentos. Los tintes imparten colores menos firmes a la luz y estabilidad térmica. Los pigmentos pueden ser inorgánicos y orgánicos. Los orgánicos imparten colores más intensos y transparentes, pero su costo es mayor. Los inorgánicos son más densos y generalmente, de tamaño de partícula más grande, por ejemplo, el negro de humo. Existen colorantes especiales, como los metálicos, fluorescentes, fosforescentes y coloraciones nacaradas.¹

1.3. Descripción de las propiedades químicas del aditivo a base de polímeros

Los aditivos en los polímeros son sustancias que se añaden a estos para mejorar sus propiedades. Dichas propiedades pueden variar de manera considerable al incorporar los aditivos.

- Cargas y refuerzos como fibras, esferas orgánicas o inorgánicas que aumentan propiedades mecánicas resistentes, acabado superficial y abaratan costes.

¹ CASTAÑEDA HERRERA. Francisco. *Ciencia de los Polímeros*. http://educommons.anahuac.mx:8080/eduCommons/ciencia-de-los-materiales-y-metalurgia/ciencia-de-los-polimeros/TEMA02_Aditivos%20en%20los%20polimeros.pdf. Consulta: 10 de mayo de 2017.

- Colorantes y pigmentos se emplean para dar color y opacidad. Tiñen las piezas o semiacabados transparentes con el 0,5-2% que no alteran el cuadro general de propiedades.
- Estabilizantes que impiden el deterioro del polímero provocado por el medio ambiente y la luz UVA.
- Agentes antiestáticos pues al ser aislantes eléctricos generan electricidad estática. Estos atraen la humedad del aire hacia la superficie del polímero, reduciendo la posibilidad de chispa o descarga.
- Lubricantes como cera o estearato de calcio, que reducen la viscosidad del polímero y mejoran las características de conformabilidad.
- Plastificantes de moléculas de bajo peso molecular que reducen la Tg y mejoran las propiedades y características de conformabilidad del polímero.
- Agentes espumantes. Algunos polímeros, como el poliestireno pueden ser expandidos en forma de espumas con huecos. El plástico se produce en forma de pequeñas gotas sólidas que contienen el agente expansor o insuflador. Cuando las gotas se calientan, el polímero se vuelve plástico, el agente se descompone para formar gas dentro de la gota y las paredes de esta se expanden. Dentro del molde se pegan entre si y conforman excelentes materiales aislantes con una densidad excepcionalmente baja.
- Rellenos. Son muy variados, se usan para diversos fines. El más conocido es el negro de humo que se añade al caucho para mejorar la resistencia y el desgaste de neumáticos. Otros, como los extensores, permiten que se

introduzca una gran cantidad de volumen de polímero con poca resina como la sílice, arcilla y carbonato de calcio.

- Refuerzos. La resistencia y rigidez de los polímeros se mejora introduciendo fibras de vidrio, polímero o grafito. Estos presentan unas propiedades excepcionales respecto al polímero que refuerzan.

1.4. Aditivos utilizados para estabilización de suelos

La estabilización de suelos consiste en un tratamiento químico o mecánico para mejorar o mantener la estabilidad de una masa de suelo o para mejorar sus propiedades ingenieriles. La estabilización química consiste en alterar las propiedades del suelo usando un cierto aditivo, el cual mezclado con el suelo, normalmente produce un cambio en las propiedades moleculares superficiales de los granos del suelo y, en algunos casos, pega los granos entre sí de modo de producir un incremento en su resistencia.

La estabilización mecánica es la alteración de las propiedades del suelo cambiando su granulometría por medio de agregar o sacar partículas o por compactación del suelo.²

Los aditivos comúnmente utilizados para la estabilización de suelos son: cal, cemento y asfalto.

- Estabilización con cal: como el efecto beneficioso de la estabilización con cal es el resultado de varias reacciones entre la parte final del suelo y la

² ECHEVERRÍA, Gerardo. *Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos* Departamento de Ingeniería en Construcción. <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/download/323/pdf>. Consulta: 11 de mayo de 2017.

cal, los suelos granulares finos responden más favorablemente al uso de la cal como estabilizante.

- Los suelos finos, en general, pueden ser estabilizados con 3% a 4% de cal en base al peso del suelo seco. Estas cantidades mínimas corresponden además a la cantidad de cal necesaria para poder ser esparcida y mezclada uniformemente en suelos cohesivos.

- Estabilización con cemento: La estabilización de suelos con cemento consiste en agregar cemento Portland a un suelo previamente pulverizado y permitir que esta mezcla se endurezca por la hidratación del cemento. Los principales factores que afectan las propiedades físicas de un suelo cemento son: tipo de suelo, cantidad de cemento, grado de mezclado, tiempo de curado y densidad seca de la mezcla compactada.

- Estabilización con asfalto. La estabilización de suelos con asfalto cumple principalmente con los siguientes objetivos:
 - Impermeabilización de suelos planos de sub-rasante.
 - Mejoramiento de materiales poco aptos.
 - Aporte estructural, lo que permite una reducción en el espesor de las capas superiores.
 - Provisión de capas de rodadura para uso temporal.
 - Reducción de polvo.

- La selección del tipo y cantidad de asfalto está influenciada por diversos aspectos; entre los principales cabe destacar: métodos y equipos de construcción, tipo de capa, condiciones de carga y ambientales, y propiedades de los agregados.

2. ANTECEDENTES

2.1. Historia de los polímeros en la construcción

El empleo de los polímeros en este campo es muy antiguo, comenzó con los biopolímeros obtenidos directamente de la naturaleza.

La evolución de estos ha sido lenta hasta la mitad del siglo XX, pero a raíz de la “revolución del plástico”, se dio un cambio excepcional con la entrada de los polímeros sintéticos. Gracias a que los ingenieros, arquitectos y especialistas del sector empezaron a adquirir conocimientos de las ventajas que pueden brindar estos polímeros, en la actualidad es posible obtener múltiples y diferentes aplicaciones en la construcción y equipamiento de una vivienda y resto de obras públicas. Además, otro objetivo que se persigue es la de conseguir un equilibrio entre las necesidades de construcción de la población y la protección del medio ambiente, así como de la salud de sus habitantes.

Estos polímeros resultaron ser materiales idóneos para satisfacer todas estas necesidades debido a sus características, las cuales son:

- Durables y resistentes a la corrosión, por ello se aplican en elementos que están expuestos al aire libre pudiendo durar décadas.
- Aislantes tanto de frío como del calor, lo cual permite el ahorro de energía, y también aislantes acústicos.

- Muy ligeros frente a otros materiales usados en la construcción, siendo así manejables y fáciles de transportar y almacenar.
- Tienen buena relación costo / beneficio.
- La mayoría (a excepción del PVC) son respetuosos con el medio ambiente, se pueden reciclar, reutilizar o transformar en una fuente de energía.

Las anteriores son características generales, pero es de tomar en cuenta que cada uno posee propiedades particulares que lo hacen más adecuados para unas aplicaciones que para otras.

2.2. Utilización de productos a base de polímeros en la construcción de carreteras no pavimentadas

La tecnología de estabilización de suelos con polímeros, para construir vías carretables y terraplenes, es un método innovador que ya se ha utilizado en vías de Estados Unidos, Europa y Asia.

Consiste en proporcionar las condiciones técnicas debajo de la superficie de rodadura o carpeta asfáltica necesarias para que la vía tenga las características estructurales de flexibilidad y resistencia al paso de los años y la filtración del agua, que son los principales enemigos de las carreteras.

Para el proceso de estabilización con polímeros también se utiliza cal, ceniza de alto horno y cemento, según lo definan las pruebas de laboratorio. Y, con una máquina especial, se mezclan homogéneamente con el mismo terreno siguiendo el trazado de la vía, por lo que no es necesario retirar el material de

excavación (como sucede con el método tradicional, donde hay que desechar y traer un relleno que cumpla con ciertas especificaciones

Entre las principales ventajas que tiene esta tecnología están su rapidez y economía. Mientras que el tiempo promedio para construir un kilómetro de manera tradicional es de tres meses, con este método es de un kilómetro por semana.

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, disminuir su susceptibilidad a la temperatura, humedad, oxidación.

- Polímeros utilizados en la modificación de asfaltos: actualmente los cementos asfálticos son modificados con elastómeros, Estireno Butadieno Latex SBR y Estireno Butadieno Estireno SBS, o con plastómetros EVA,
- Acetato de etilo: líquido inflamable, incoloro con olor característico a frutas, su punto de ebullición es de 77°C (171 °F). Es incompatible y reacciona con los oxidantes, catalizadores para polímeros de vinil, peróxidos, ácidos fuertes, cloruro de aluminio. Puede polimerizarse si es contaminado o sujeto a calentamiento.
- Acetato de vinilo: líquido incoloro, con olor característico a frutas, inflamable. Es incompatible y reacciona con los oxidantes, ácidos, bases, sílica gel, alúmina, azocompuestos, ozono. Su punto de ebullición es de

72°C (162 °F) y su punto de inflamación es de 492.78°C (919.01 °F). Puede polimerizarse si es contaminado.

- Estireno: líquido incoloro a amarillo, aceitoso. Puede formar peróxidos en circunstancias específicas, iniciando una polimerización explosiva. La sustancia se puede polimerizar debido al calentamiento suave bajo la influencia de la luz, con peligro de incendio o explosión. Reacciona fácilmente con oxidantes fuertes, arriba de 31 °C (88°F) puede formar mezclas explosivas vapor / aire. Tiene un punto de ebullición de 145 °C (293°F), su densidad relativa es de 0.9 mg/ml, su temperatura de auto ignición es de 490 °C (914°F).
- Butadieno: gas licuado comprimido, incoloro, su punto de ebullición es de - 4 °C (24.8°F), su punto de fusión es de -109 °C (- 164°F). Extremadamente inflamable. La sustancia puede formar peróxidos en circunstancias específicas, iniciando una polimerización explosiva, puede polimerizarse debido al calentamiento suave bajo la influencia de la luz, con peligro de incendio o explosión. Se descompone con explosión por calentamiento rápido a presión. Reacciona vigorosamente con oxidantes y otras muchas sustancias, originando peligro de incendio y explosión. Ataca al cobre y sus aleaciones.

Resulta importante agregar que siempre se deben realizar ensayos cuando se desee construir o bien utilizar algún material suelo para definir las características de estos a estabilizar, también se deben llevar a cabo ensayos de laboratorio sobre mezclas de prueba para determinar las propiedades del suelo estabilizado y finalmente, con un análisis de costo y energía, determinar el método y producto más conveniente.

3. ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DE SUELOS CON UN PRODUCTO A BASE DE POLÍMEROS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS

3.1. Generalidades de la construcción de carreteras no pavimentadas

A continuación se detallan las maquinas más utilizadas para la construcción de caminos no pavimentados.

3.1.1. Máquinas por utilizar en la construcción de carreteras no pavimentadas

Por lo general, cada máquina realiza una cantidad limitada de actividades de las cuales, algunas realiza con más eficiencia que en otras, entonces, los criterios de selección se deberán utilizar preferiblemente donde su volumen de producción sea mayor, pero no limitándose a ésta

3.1.2. Maquinaria de corte y excavación

Se utilizan máquinas de corte para excavar el terreno donde se asentarán los cimientos y bases de edificios y otras estructuras.

3.1.2.1. Tractores para obras de tierra

Estas son las primeras máquinas que entran al corte del cerro, ladera, etc., debido a que dominan las pendientes fuertes. La utilización de este tractor en la construcción de una carretera es necesaria, debido a la gran variedad de labores

que puede realizar y se puede emplear para limpia y destronque, excavaciones cortas, escarificar, empujar y halar mototrailla. El equipo de corte está constituido, fundamentalmente, por tractores de oruga provistos de cuchilla cortadora accionado por cable o hidráulicamente, la cual puede estar fija, en posición transversal respecto al eje longitudinal del tractor o en posición esviada respecto al mismo. Estas cuchillas móviles pueden ser accionadas hidráulicamente o por medio de pines para graduar el ángulo de esviaje según convenga. Pueden ser equipados con diversos tipos de accesorios, como cuchilla empujadora, cuchilla angular, cuchilla en v, ripper, escarificador, compactadora.

Cuando el terreno es rocoso es necesario hacer uso de los explosivos para poderlo remover lo cual implica el uso de un equipo especial de perforación, para introducir los explosivos y luego hacerlos estallar. Existen varios tipos de equipo de perforación y son seleccionados dependiendo de la naturaleza del terreno y clase de roca, profundidad y tamaño de las perforaciones, tipo de roca que se producirá y tamaño de los bloques que se romperán.

Figura 1. Tractor de banda



Fuente. Gentrac. www.gentrac.com.gt. Consulta: mayo 2017.

3.1.2.2. Excavadoras

Las excavadoras son máquinas que cortan material y pueden disponerlo en alrededores cercanos o cargarlo. Son utilizadas en cortes de taludes, explotación de bancos de material, excavación de zanjas, dragados de ríos, etc. Las excavadoras se utilizan, principalmente, para excavar debajo de la superficie natural del terreno, sobre la cual descansa la máquina. Están adaptadas para la excavación de trincheras, pozos, sótanos y trabajos generales de excavaciones escalonadas,, donde se requiere un control preciso de las profundidades.

Figura 2. **Excavadora**



Fuente. Gentrac. www.gentrac.com.gt. Consulta: mayo 2017.

3.1.2.3. Cargador frontal

El cargador es un tractor, montado sobre orugas o sobre ruedas, que tiene un cucharón de gran tamaño en su extremo frontal. El cucharón está instalado para excavar o cargar tierra o material granular, levantarlo, acarrearlo cuando sea necesario y vaciarlo desde cierta altura. Un cargador de llantas de hule es comúnmente utilizado para cargar material suelto. Por otro lado, el cargador de cadenas por su fuerte tracción es utilizado en bancos de materiales pudiendo cortar y luego cargar, ya que, se equipa con un cucharón de dientes.

Figura 3. **Cargador frontal**



Fuente. Gentrac. www.gentrac.com.gt. Consulta: mayo 2017.

3.1.2.4. Retroexcavadoras

Estas máquinas son muy versátiles y de gran aplicación en la construcción debido a que pueden realizar algunos trabajos efectuados por una excavadora y un cargador frontal en menor volumen. Debido a que dispone de un cucharón frontal y un brazo con un cucharón pequeño similar al de una excavadora. Su tamaño permite maniobrabilidad para realizar trabajos livianos como: excavación de zanjas, corte de taludes, cargar material suelto en camiones, traslado de materiales, etc.

Figura 4. **Retroexcavadoras**



Fuente. Gentrac. www.gentrac.com.gt. Consulta: mayo 2017.

3.1.3. Maquinaria de acarreo

El equipo de acarreo está compuesto, básicamente, por camiones y volquetas. Los camiones pueden ser clasificados de acuerdo con varios factores, entre los que se pueden incluir los siguientes: tamaño y tipo de motor, número de velocidades, clase de manejo, número de ruedas y ejes, distribución de las ruedas de propulsión, dos ejes, cuatro ejes, seis ejes, método de votar la carga, por atrás o por un lado, clase de material a acarrear, capacidad en toneladas.

3.1.3.1. Motoniveladora

El afinamiento final de la superficie es ejecutado por la motoniveladora o patrol, pues es una tarea que requiere bastante exactitud para dejar una superficie perfectamente nivelada. La motoniveladora es una máquina que se utiliza para mover la tierra u otro material suelto. Generalmente, su función consiste en nivelar, modelar o dar la pendiente necesaria al material en el que trabaja, para darle una configuración predeterminada. Es de particular utilidad

porque su hoja puede mantenerse en varias posiciones. A esta hoja, también, se le llama conformadora o moldeadora, su hoja estándar tiene 3,66 a 4,27 metros de longitud.

Figura 5. **Motoniveladora**



Fuente. Gentrac. www.gentrac.com.gt. Consulta: mayo 2017.

3.1.4. Maquinaria de compactación

La compactación de los materiales es una de las operaciones más importantes y delicadas en la construcción de una carretera, por lo tanto, es necesario contar con el equipo adecuado de acuerdo con los materiales que se trabajan para obtener resultados satisfactorios y, así, evitar pérdidas de tiempo y elevación en el costo de la obra.

3.1.4.1. Vibrocompactadoras

El aumento de la densidad se debe a la vibración generada y es función de la frecuencia de los golpes fuerza de cada golpe y del período de tiempo en que los golpes son aplicados. Velocidades de 3 a 6 km/h producen mejores resultados en este tipo de compactadores.

Los espesores de compactación varían según el tamaño del compactador, pero no deben exceder de 60 cm por capa. En ocasiones, cuando existen grandes clastos o rocas se puede llegar a espesores de 1,2 m, siendo el espesor por compactar 30 cm más grande que el tamaño máximo de partículas a compactar.

Figura 6. **Vibrocompactadora**



Fuente. Gentrac. www.gentrac.com.gt. Consulta: mayo 2017.

3.1.4.2. Compactador pata de cabra

Los bloques (o patas) penetran el suelo superior compactando la capa de suelo siguiente, en decir compacta desde abajo hacia arriba. Además este tipo de compactación ayuda a secar arcillas y limos mediante el amasado.

Si llueve, la capa superior puede actuar como esponja y retardar el proceso de compactación. Usualmente, de 6 a 10 pasadas son necesarias para densificar un espesor de 20 cm de suelo.

Figura 7. **Compactador pata de cabra**



Fuente. Gentrac. www.gentrac.com.gt. Consulta: mayo 2017.

3.1.4.3. Compactadores neumáticos

Generalmente, se usan en trabajos de compactación a medianos, principalmente en suelos granulares. Las fuerzas de compactación se producen a través de los neumáticos, estas se pueden variar cambiando la presión de inflado de estos.

Este tipo de compactadores también son utilizados en asfaltos.

Figura 8. **Compactador neumático**



Fuente. Gentrac. www.gentrac.com.gt. Consulta: mayo 2017.

3.1.5. Ventajas de la aplicación y uso de aditivos poliméricos

A continuación, se clasifican las ventajas de los suelos estabilizados:

- Mecánicas
 - Disminuyen la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga.
 - Tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión los agregados.
 - Mayor elasticidad debido a los polímeros de cadenas largas.
 - Mejor compactación por la acción lubricante del polímero o de los aditivos incorporados para el mezclado.
 - No requieren equipos especiales.

- Económicas
 - El costo, depende básicamente de su proceso de polimerización y la disponibilidad de los monómeros.
 - Fácilmente disponible en el mercado.

- Tiempo de vida
 - El polímero elastómero proporciona una excelente resistencia al envejecimiento
 - Mejora la vida útil de los caminos con menos trabajos de conservación.

- Físicas
 - Mejorar la adherencia a los agregados.
 - Mayor cohesión.
 - Mayor resistencia a la acción del agua.
 - Las propiedades del producto no se ven afectadas si se mantiene almacenado a temperatura ambiente por periodos prolongados.

- Ecológicas.
 - La mayoría de los polímeros están basados en un esqueleto de carbono, por lo que son materiales orgánicos.

3.1.6. Método de aplicación de aditivos poliméricos en campo

- Escarificar. Se escarifica el camino a intervenir, para obtener una profundidad de 15 a 20 cm.
- Regado. Se riega el camino con el aditivo diluido en agua, de acuerdo con las proporciones que correspondan, mediante una cuba.
- Mezclar y nivelar. Se mezcla el suelo para que el producto penetre entre 15 y 20 cm. Luego, se realiza la nivelación del camino.
- Compactación. Compactación del camino mediante rodillo vibratorio de 20 toneladas.

3.2. Especificaciones del estudio

A continuación se detallan los pasos a seguir en la realización del estudio.

3.2.1. Materiales a utilizar en el estudio

Cuando se construyen carreteras debe considerarse que estas tienden a deformarse y a hundirse con el paso del tiempo. La rapidez de que esto ocurra está directamente relacionada con la carga que incide sobre el suelo.

En Guatemala de acuerdo con el Ministerio de Comunicaciones, infraestructura y vivienda el 44,6% de la red vial del país se encuentra pavimentada, por ello el uso de aditivos como el que se estudia resulta relevante para cubrir la necesidad de comunicación a través del uso de caminos no pavimentados que se logren mantener en buen estado.

Debido a la diversidad de geografía que existe en nuestro país, se optó por elegir tres muestras de suelos que presenten, si no todas, un compendio general de las diversas características que tienen los suelos a lo largo del país.

La muestra uno es un suelo catalogado como una arena limosa color café, es de origen ígneo ya que la grava y parte de la arena que lo componen son pómez, este tipo de suelo es muy común en buena parte del sur y centro del país, ya que presenta influencia de la red volcánica que lo atraviesa.

La muestra dos es un suelo catalogado como arena limosa color gris, al igual que la anterior es de origen ígneo, la arena es densa ya que es basalto, este tipo de suelo se encuentra en el centro y sur del país.

Y finalmente, la muestra número tres está catalogada como un limo con presencia de arena fina color café oscuro, es un suelo de origen orgánico, y puede ser encontrado en casi todo el territorio nacional.

Es importante mencionar que no se tiene pensado trabajar con ningún material clasificado como arcilla, ya que el aditivo polimérico en estudio no tiene entre sus características ser apto para materiales altamente plásticos, así mismo bajo ningún criterio se justifica como apto el uso de una arcilla en una vía no pavimentada, por lo que resulta incoherente optar por su estudio.

3.2.2. Generalidades del aditivo polimérico a estudiar

Es un sistema de estabilización de suelos respetuoso con el entorno ecológico y rápidos tiempos de aplicación. Es una emulsión iónica copolímera, ecológica y no contaminante.

Se puede colocar sobre cualquier tipo de suelo: arena, tierra, arcilla u otros. Compacta los caminos y les otorga una dureza similar o incluso superior a la del cemento.

Entre las características que presenta el aditivo en estudio están las siguientes:

- Es duradero, de 3 a 5 años dependiendo del tráfico.
- Durante el proceso de curación de la carretera o camino, requerido de 28 días, adquiere unos parámetros de dureza similares al cemento.
- No daña al medio ambiente.
- Es impermeabilizante (desplaza el agua hacia las cunetas).
- Es estético, ya que el camino queda del mismo color que tenía antes de la aplicación del producto.

3.2.3. Especificaciones del fabricante para el aditivo a estudiar

Se describen, a continuación, las especificaciones del aditivo.

Tabla I. **Especificaciones técnicas del aditivo**

Campo de aplicación	Compactación de tierras
Composición	Sustancia-preparado, no hay ningún ingrediente adicional presente
Propiedades físicas y químicas	Estado físico- líquido Color- blanco Olor- afrutado, dulce
Propiedades físicas y químicas	Valor pH 6,5-7,5 Punto de ebullición 100° C Presión de vapor 23ph a 20° C Densidad relativa 1,09 Solubilidad en agua miscible Viscosidad Dinámico 1.000-3,000 mPs s

Fuente. Landfix. www.land-fix.com. Consulta: junio 2017.

3.2.4. Determinación de la proporción agua/aditivo polimérico

De acuerdo con las observaciones dadas por el fabricante del polímero en estudio, la relación agua/aditivo, se ve afectada por condiciones climatológicas y del terreno, por lo que recomienda utilizar desde 2 hasta 8 litros de agua por cada litro de aditivo que se incorpore en la dilución.

Basados en lo anterior, se propone utilizar el valor de humedad óptima del ensayo de compactación Proctor modificado de las tres muestras de suelo que se analizarán, y variando la proporción agua/aditivo, comparar la densidad seca máxima obtenida en cada variante para determinar la proporción que presente un mejor desempeño en cada suelo.

Las proporciones que se propone evaluar son:

Tabla II. **Relación agua: aditivo propuesta**

	Relación agua: aditivo			
Prueba	1	2	3	4
Muestra 1	2:1	4:1	6:1	8:1
Muestra 2	2:1	4:1	6:1	8:1
Muestra 3	2:1	4:1	6:1	8:1

Fuente: elaboración propia.

4. ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1. Ensayos efectuados

A continuación se detallan los ensayos de laboratorio efectuados.

4.1.1. Clasificación de suelos Norma AASHTO M-145

Al momento de realizar cualquier estudio o análisis de suelos resulta imprescindible catalogar o clasificar un suelo respecto a sus características físicas, la mecánica de suelos enfocada en la ingeniería civil utiliza dos métodos de clasificación que se adecuan a la naturaleza de los proyectos que se desarrolle, uno de ellos es el Sistema de Clasificación Unificado (SCU) y el otro, denominado Sistema de Clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Oficial).

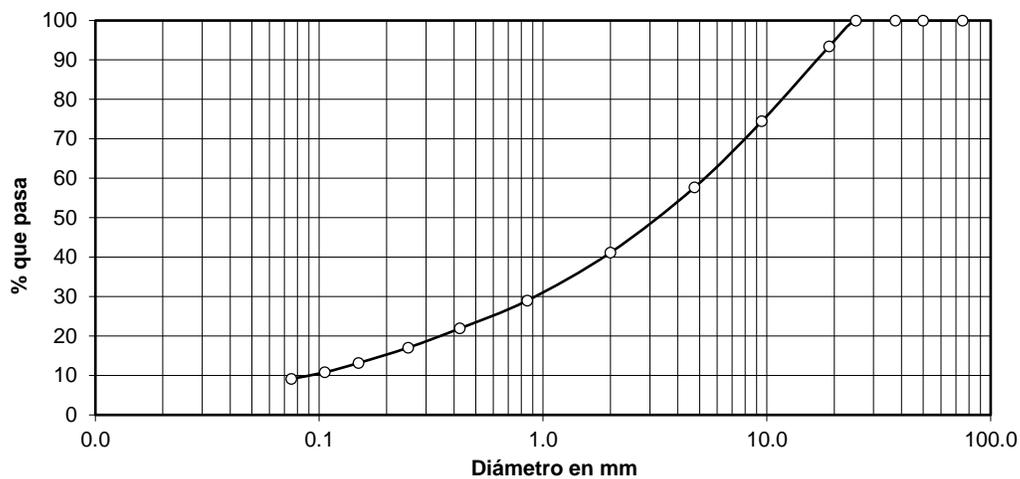
Resulta obligatorio clasificar los diferentes suelos que se analicen para clasificar científicamente el tipo de suelo con que se cuenta.

4.1.2. Análisis granulométrico por cribado (Norma AASHTO T-27)

El análisis granulométrico es un intento de determinar las proporciones relativas de los diferentes tamaños de grano presentes en una masa de suelo dada. Obviamente, para obtener un resultado satisfactorio, la muestra debe ser estadísticamente representativa de la masa del suelo.

Resulta importante este ensayo ya que con él se podrá determinar la influencia en la distribución de los granos de suelo en el desempeño de la resistencia al corte, determinada a través del ensayo de relación soporte California, así como el coeficiente de permeabilidad del suelo.

Figura 9. **Curva granulométrica**



Fuente. elaboración propia de resultados obtenidos.

4.1.3. Límites de Atterberg

- Norma AASHTO T-89, T-90

Los límites de Atterberg tienen por objetivo conocer los parámetros de plasticidad de los suelos cohesivos, esto se logra basándose en el hecho de que los suelos pueden encontrarse en cuatro estados de consistencia, los cuales se dan en base a la cantidad de agua (humedad) presente en estos.

Los cuatro estados de consistencia son líquido, plástico, semisólido y sólido; para conocer el valor numérico que sirve de frontera entre el estado líquido y plástico, se realiza el ensayo de límite líquido; para la frontera entre el estado plástico y semisólido, existe el ensayo de límite plástico y, finalmente; para la frontera entre el estado semisólido y sólido, se lleva a cabo el ensayo de límite de contracción.

Figura 10. **Límites de consistencia**

Sólido	Semisólido	Plástico	Semilíquido	Líquido
LC		LP	LL	

Fuente. HERNÁNDEZ CANALES, Juan Carlos. *Características físicas y propiedades mecánicas de los suelos y sus métodos de medición. p.70.*

Para este estudio resulta relevante aplicar este ensayo por dos razones, la primera es para poder clasificar el suelo de acuerdo con sus características físicas (distribución granulométrica y plasticidad) y la segunda razón es que para aumentar el alcance del estudio era necesario contar con al menos un suelo con plasticidad para conocer la influencia del aditivo polimérico en este.

Figura 11. **Copa de Casagrande**



Fuente. Humboldt. www.humboldtmg.com. Consulta: junio 2017.

4.1.4. Índice de plasticidad (Norma AASHTO T-89, T-90)

Representa el intervalo de humedades para pasar del estado semisólido al semilíquido ($IP = LL - LP$). Determinados el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP), se puede obtener un punto representativo de cada muestra de suelo, en la carta de plasticidad de Casagrande, representando la relación del límite líquido (LL), con el índice de plasticidad IP ($IP = LL - LP$).

Es necesario clasificar los suelos por estudiar, según su plasticidad y verificar la influencia de esta característica en el desempeño del polímero.

4.1.5. Ensayo de compactación proctor modificado (Norma AASHTO T-180)

Para medir el grado de compactación de un material o un relleno se debe establecer la densidad seca del material. Para obtener una buena compactación será necesario controlar debidamente la cantidad de agua, debido a que, si ésta es muy poca, no existirá lubricación y no se podrá disminuir la fricción existente entre las partículas; en caso de que el agua sea en exceso, las partículas podrán ser separadas por el agua.

Se puede decir que la densidad seca de un suelo, producida por la compactación, depende del porcentaje de humedad que contenga y de la intensidad de la fuerza de compactación que se le aplique.

Debido a que el enfoque de este estudio está dirigido al estudio de un aditivo en caminos no pavimentados, este ensayo resulta imprescindible tanto para conocer las características de las muestras de suelo en estado natural como su comportamiento con el aditivo a fin de conocer la relación agua/aditivo que produce la mejor densidad.

4.1.6. Valor soporte California (Norma AASHTO T-193)

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte (CBR, California Bearing Ratio) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de compactación variables.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un porcentaje de la relación de soporte.³

El porcentaje CBR (o simplemente CBR), está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, una muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, una probeta con una muestra estándar de material triturado.

Debido a las características del ensayo, su ejecución es necesaria para medir, comparar y analizar la capacidad del aditivo polimérico de mejorar las propiedades de corte de los suelos.

³ GÓMEZ FIGUEROA. Pedro. *Proceso y equipo utilizado en la construcción de carreteras*. p. 115

Figura 12. **Equipo para ensayo CBR**



Fuente. Humboldt. www.humboldtmg.com. Consulta: junio 2017.

4.1.7. Permeabilidad del suelo (Norma ASTM D5856)

Permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire y es una de las cualidades más importantes que han de considerarse para la piscicultura. Un estanque construido en suelo impermeable perderá poca agua por filtración. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración.

Así mismo, la permeabilidad en las capas de suelo que forma un pavimento resulta tan importante ya que de ello dependerá la vida de la carretera, ya sea que cuente con pavimento rígido, flexible, mixto o sea terracería.

Entre las propiedades que ofrece el aditivo polimérico en estudio es su capacidad de disminuir la permeabilidad de los materiales tratados con él, por ello, este ensayo es vital y de gran valor en el análisis final de este estudio.

Figura 13. **Permeámetro de compactación de pared rígida**



Fuente. Humboldt. www.humboldtmfg.com. Consulta: junio 2017.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Tablas comparativas de los resultados entre material en su estado natural y material tratado con un producto polimérico

La comparación de los resultados se realiza con el objetivo de poder conocer el efecto que causó el aditivo en el suelo.

5.1.1. Resultados materiales en estado natural

A continuación se presentan los resultados obtenidos del suelo en estado natural.

5.1.1.1. Clasificación de los suelos

Tabla III. Clasificación de los suelos muestreados

Muestra	Clasificación		Descripción del suelo
	S.U.C.	AASHTO	
1	SM	A-1-b	Arena pómez limosa color café
2	SW-SM	A-1-a	Arena y grava color gris
3	ML	A-5	Limo con presencia de arena fina color café oscuro

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.2. Límites de Atterberg

Se da a conocer la tabla de clasificación, según la plasticidad de los suelos muestreados.

Tabla IV. **Clasificación según plasticidad de los suelos muestreados**

Muestra	LL	IP	Clasificación	Descripción del suelo
1	NP	NP	ML	Arena pómez limosa color café
2	NP	NP	ML	Arena y grava color gris
3	44,7	8,3	ML	Limo con presencia de arena fina color café oscuro

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la clasificación de los suelos, con base en la carta de plasticidad los tres cuentan con la misma clasificación, sin embargo, la muestra 3 es la única plástica, con ello es posible determinar el comportamiento de los polímeros como estabilizador químico en suelos plásticos y no plásticos.

5.1.1.3. Análisis granulométrico

Conocer la clasificación del suelo de acuerdo con la distribución granulométrica permite determinar si incide en su comportamiento.

Tabla V. **Análisis granulométrico de suelos**

Análisis por mallas (%)			
Descripción	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Grava	21,76	42,32	0,06
Arena	63,10	48,54	17,12
Fino	15,14	9,14	82,82

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.4. Coeficiente de permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad, se ve modificado con el uso del polímero, por ello, resulta relevante conocer su comportamiento sin el mismo.

Tabla VI. **Coeficiente de permeabilidad**

Muestra	Descripción del suelo	Coeficiente de permeabilidad a 20 °C (cm/s)
1	Arena pómez limosa color café	$1,4 \times 10^{-05}$
2	Arena y grava color gris	$2,6 \times 10^{-05}$
2	Limo con presencia de arena fina color café oscuro	$1,58 \times 10^{-06}$

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.5. Compactación Proctor

Se dan a conocer los resultados obtenidos del ensayo de compactación proctor.

Tabla VII. **Características básicas de compactación Proctor modificado**

Muestra	Peso unitario seco máximo (kg/m³)	Humedad óptima (%)	Descripción del suelo
1	1 263,98	17,00	Arena pómez limosa color café
2	1 986,96	9,05	Arena y grava color gris
3	1 406,56	23,50	Limo con presencia de arena fina color café oscuro

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.6. Valor soporte California (CBR)

Los resultados del ensayo valor soporte California dan a conocer la resistencia del suelo al ser aplicada una carga.

Tabla VIII. **Valor soporte California (CBR)**

Muestra	% CBR al 95% de compactación	Descripción del suelo
1	33,65	Arena pómez limosa color café
2	78,57	Arena y grava color gris
3	2,50	Limo con presencia de arena fina color café oscuro

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Resultados materiales tratados con un producto polimérico

A continuación se presentan los resultados obtenidos del tratamiento del suelo con el producto polimérico en estudio.

5.1.2.1. Determinación de proporción aditivo polimérico y agua

Se desea determinar la proporción adecuada a la cual se debe trabajar el suelo, esto para aumentar la efectividad del producto.

5.1.2.1.1. Muestra 1

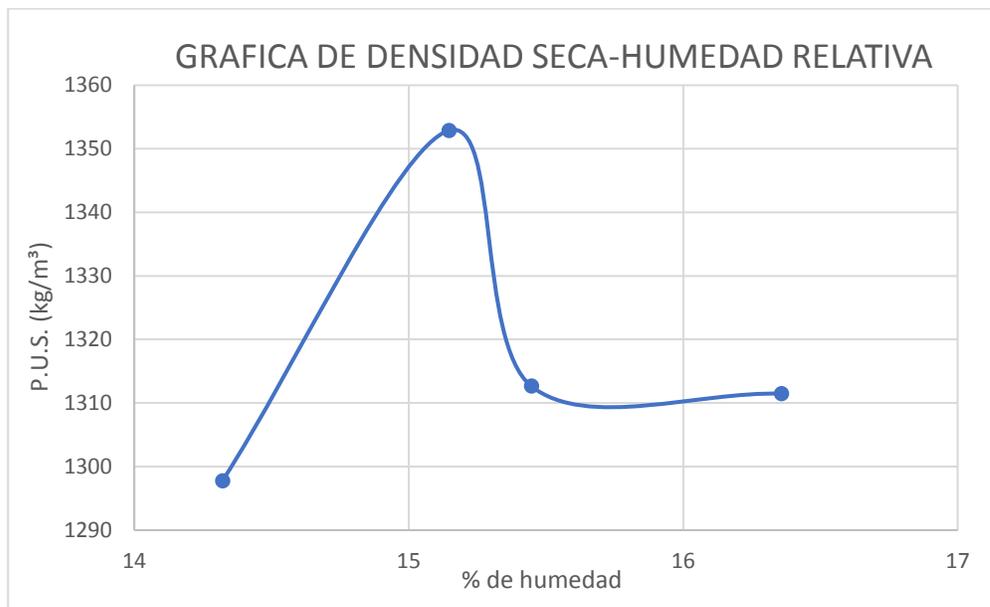
Descripción: arena pómez limosa color café.

Tabla IX. **Compactación Proctor modificado con proporción propuesta**

Proporción (agua:aditivo)	2:1	4:1	6:1	8:1
% Humedad	14,32	15,15	15,45	16,36
Peso unitario seco (kg/m ³)	1 297,75	1 352,88	1 312,64	1 311,47

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Peso unitario seco máximo vs % humedad, muestra 1**



Fuente: elaboración propia.

5.1.2.1.2. Muestra 2

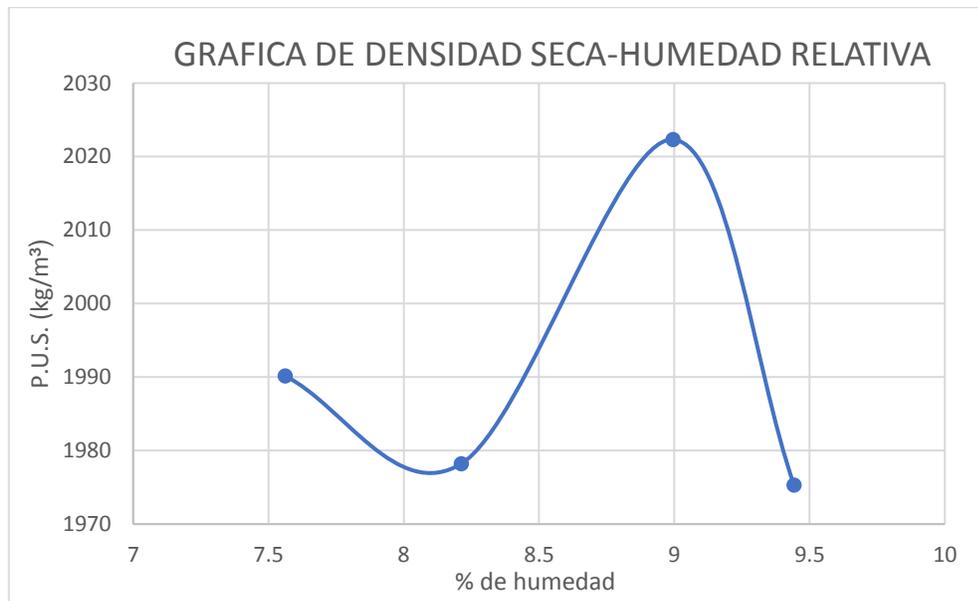
Descripción: arena y grava color gris.

Tabla X. **Compactación Proctor modificado con proporción propuesta**

Proporción (agua:aditivo)	2:1	4:1	6:1	8:1
% Humedad	7,06	8,21	8,99	9,44
Peso unitario seco (kg/m ³)	1 990,15	1 978,19	2 022,32	1 975,31

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Peso unitario seco máximo vs % humedad, muestra 2**



Fuente: elaboración propia.

5.1.2.1.3. Muestra 3

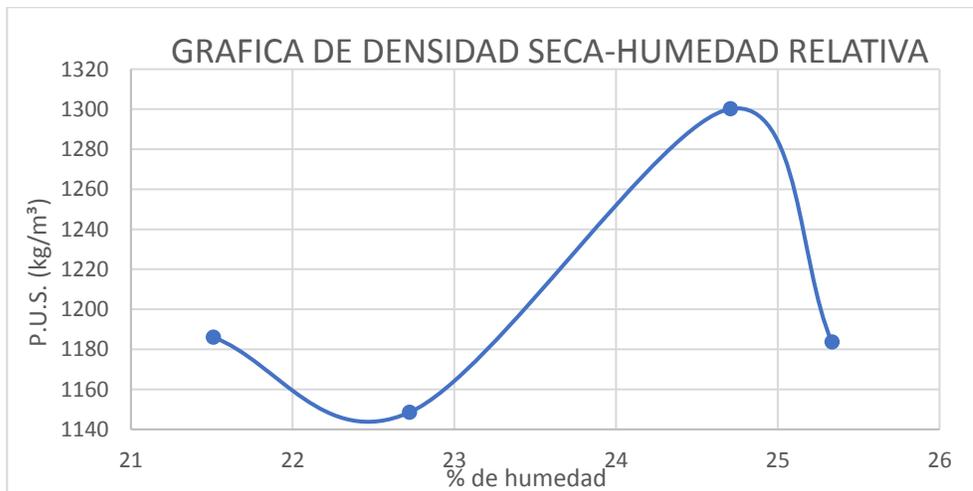
Descripción: limo con presencia de arena fina color café oscuro.

Tabla XI. **Compactación Proctor modificado con proporción propuesta**

Proporción (agua:aditivo)	2:1	4:1	6:1	8:1
% Humedad	21,50	22,72	24,71	25,33
Peso unitario seco (kg/m ³)	1 186,10	1 148,48	1 300,15	1 183,73

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Peso unitario seco máximo vs % humedad, muestra 3**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Tabla comparativa resultados compactación Proctor modificado con y sin polímero**

Muestra	Sin polímero		Con polímero		Descripción del suelo
	P.U.S. máximo (kg/m ³)	Humedad óptima (%)	P.U.S. máximo (kg/m ³)	Humedad óptima (%)	
1	1 263,98	17,00	1,352,88	15,15	Arena pómez limosa color café
2	1 986,96	9,05	2022,32	8,99	Arena y grava color gris
3	1 406,56	23,50	1300,15	24,71	Limo con presencia de arena fina color café oscuro

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Coefficiente de permeabilidad**

Muestra	Descripción del suelo	Coefficiente de permeabilidad a 20 °C (cm/s)			
		Sin polímero	Con polímero		
			7 días	14 días	28 días
1	Arena Pómez Limosa Color Café	1,40x10 ⁻⁰⁵	1,34x10 ⁻⁰⁴	4,19x10 ⁻⁰⁴	1,44x10 ⁻⁰³
2	Arena y Grava Color Gris	2,60x10 ⁻⁰⁵	4,83x10 ⁻⁰⁴	2,41x10 ⁻⁰⁴	1,17x10 ⁻⁰³
3	Limo con Presencia de Arena Fina Color Café Oscuro	1,58x10 ⁻⁰⁶	7,64x10 ⁻⁰⁵	3,22x10 ⁻⁰⁶	1,44x10 ⁻⁰⁵

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Valor soporte California (CBR)**

Muestra	Descripción del suelo	% CBR al 95% de compactación			
		Sin polímero	Con polímero		
			7 días	14 días	28 días
1	Arena pómez limosa color café	33,65	44,21	45,80	87,14
2	Arena y grava color gris	78,57	92,00	107,00	246,43
3	Limo con presencia de arena fina color café oscuro	2,50	2,35	3,61	6,16

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos (tabla XIV) los valores obtenidos a los 7, 14 y 28 días van de manera ascendente hasta alcanzar su valor pico a los 28 días, según las especificaciones del polímero.

5.2. Gráficos comparativos de resultados obtenidos entre el material en su estado natural y tratado con el aditivo polimérico en estudio

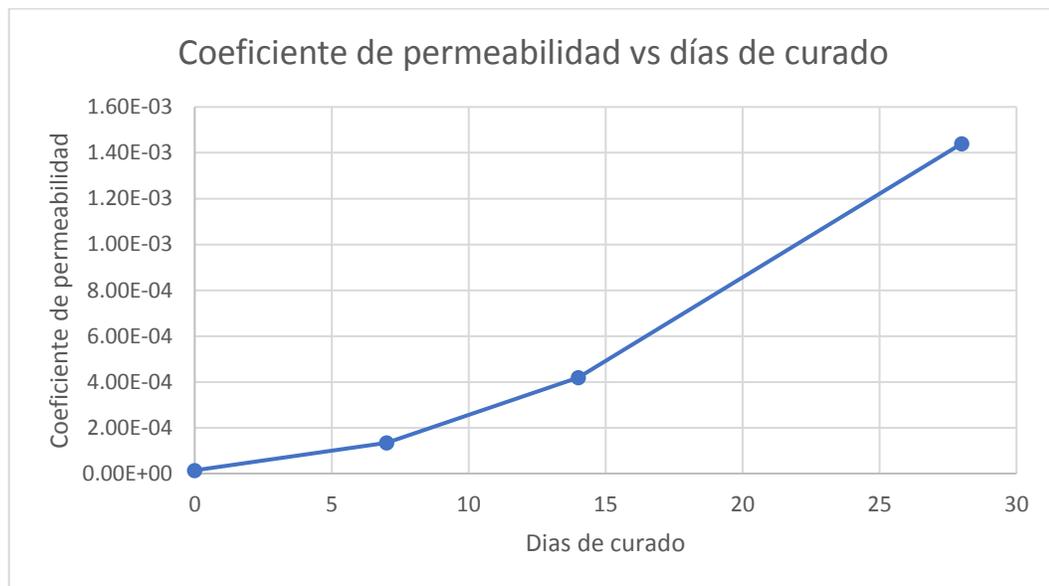
A continuación se presentan los gráficos obtenidos de los ensayos realizados.

Tabla XV. **Coefficiente de permeabilidad, muestra 1**

Muestra	Descripción del suelo	Coeficiente de permeabilidad a 20 °C (cm/s)			
		Sin polímero	Con polímero		
		0 días	7 días	14 días	28 días
1	Arena pómez limosa color café	$1,40 \times 10^{-05}$	$1,34 \times 10^{-04}$	$4,19 \times 10^{-04}$	$1,44 \times 10^{-03}$

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Coefficiente de permeabilidad vs días de curado, muestra 1**



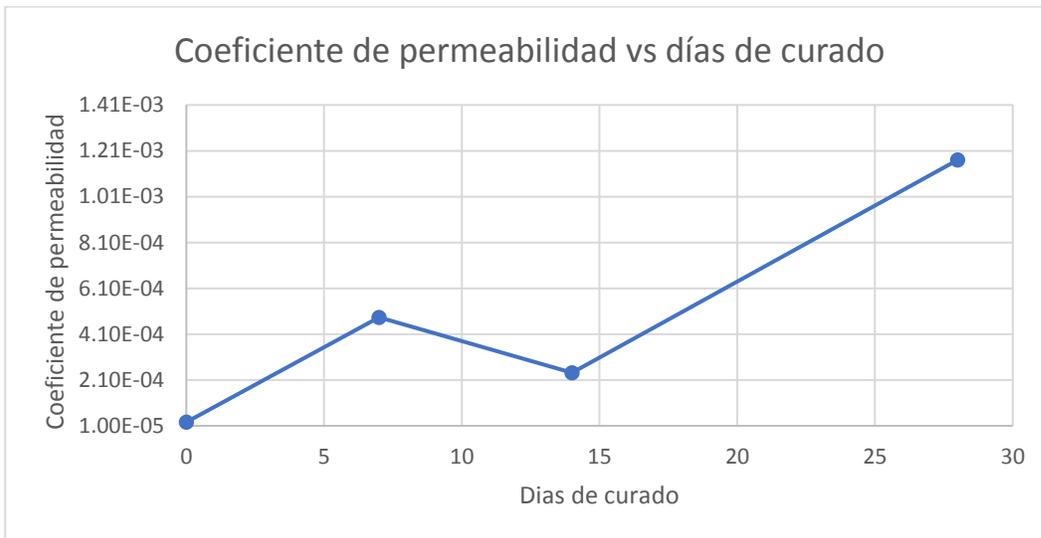
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Coefficiente de permeabilidad, muestra 2**

Muestra	Descripción del suelo	Coefficiente de permeabilidad a 20 °C (cm/s)			
		Sin polímero	Con polímero		
		0 días	7 días	14 días	28 días
2	Arena y Grava Color Gris	$2,60 \times 10^{-05}$	$4,83 \times 10^{-04}$	$2,41 \times 10^{-04}$	$1,17 \times 10^{-03}$

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Coefficiente de permeabilidad vs días de curado, muestra 2**



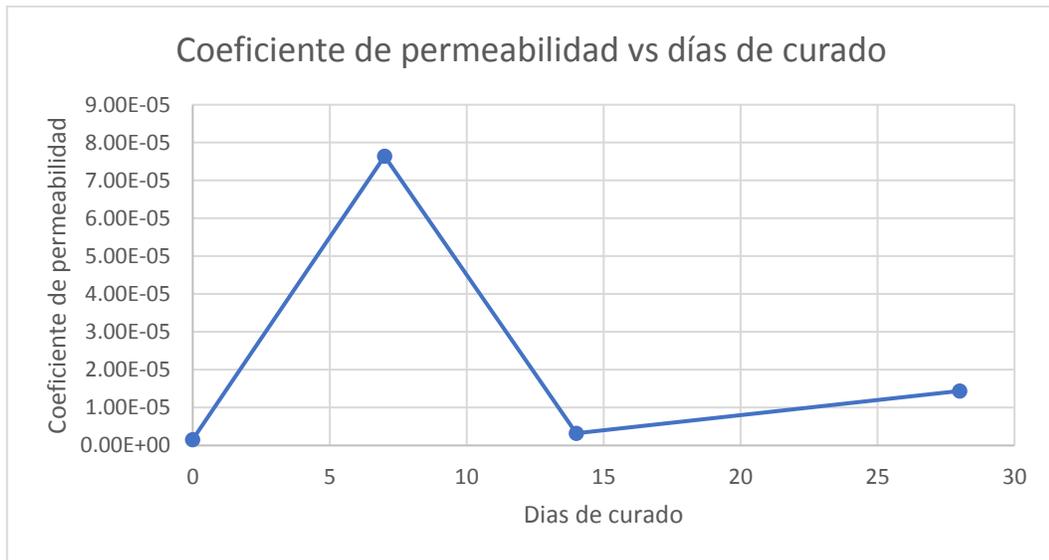
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Coefficiente de permeabilidad, muestra 3**

Muestra	Descripción del suelo	Coeficiente de permeabilidad a 20 °C (cm/s)			
		Sin polímero	Con polímero		
		0 días	7 días	14 días	28 días
3	Limo con Presencia de Arena Fina Color Café Oscuro	$1,58 \times 10^{-06}$	$7,64 \times 10^{-05}$	$3,22 \times 10^{-06}$	$1,44 \times 10^{-05}$

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Coefficiente de permeabilidad vs días de curado, muestra 3**



Fuente: elaboración propia.

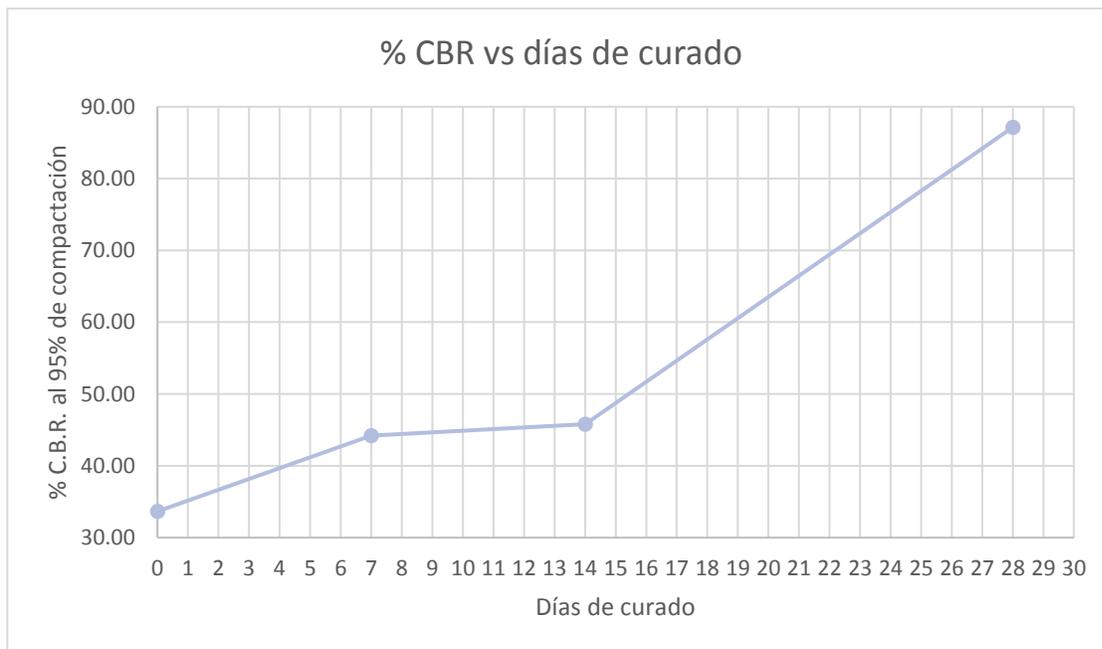
Tabla XVIII. **Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 1**

Ensayo no.	Días de curado	Expansión (%)	% C.B.R. al 95% de compactación
1*	0,0	0,59	33,65
2	7,0	0,00	44,21
3	14,0	0,07	45,80
4	28,0	0,09	87,14

*corresponde a muestra sin polímero, no necesita curado.

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 1**



Fuente: elaboración propia.

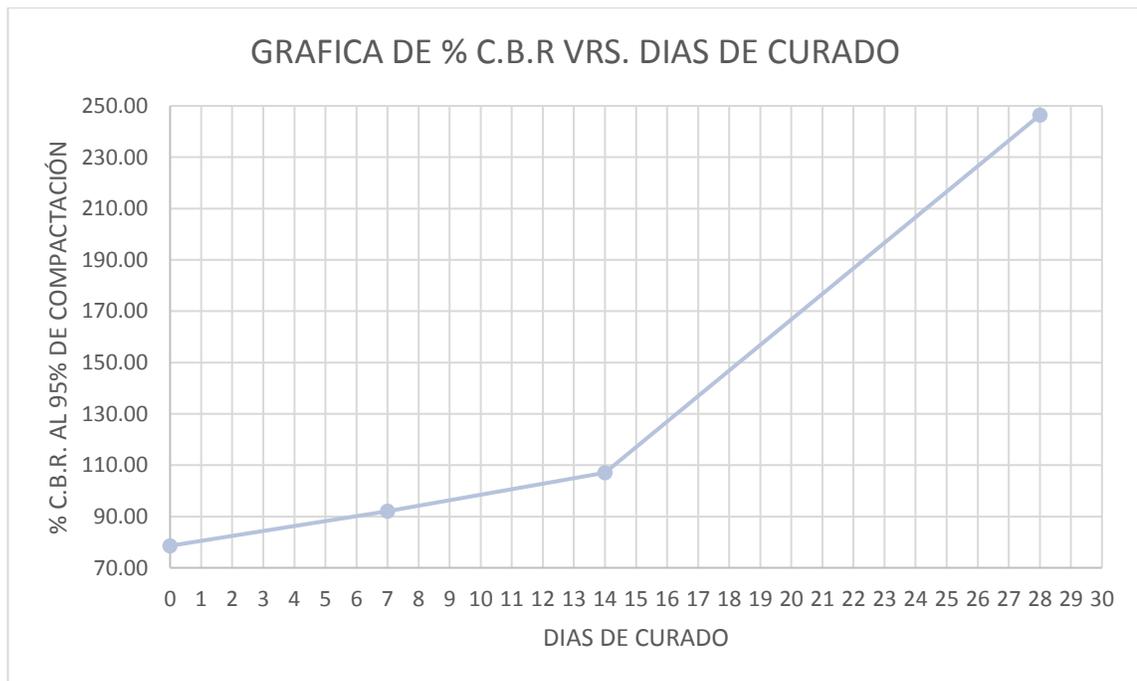
Tabla XIX. **Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 2**

Ensayo no.	Días de curado	Expansión (%)	% C.B.R. al 95% de compactación
1*	0	0,44	78,57
2	7	0,09	92,00
3	14	0,12	107,00
4	28	0,00	256,43

**corresponde a muestra sin polímero, no necesita curado.*

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 2**



Fuente: elaboración propia.

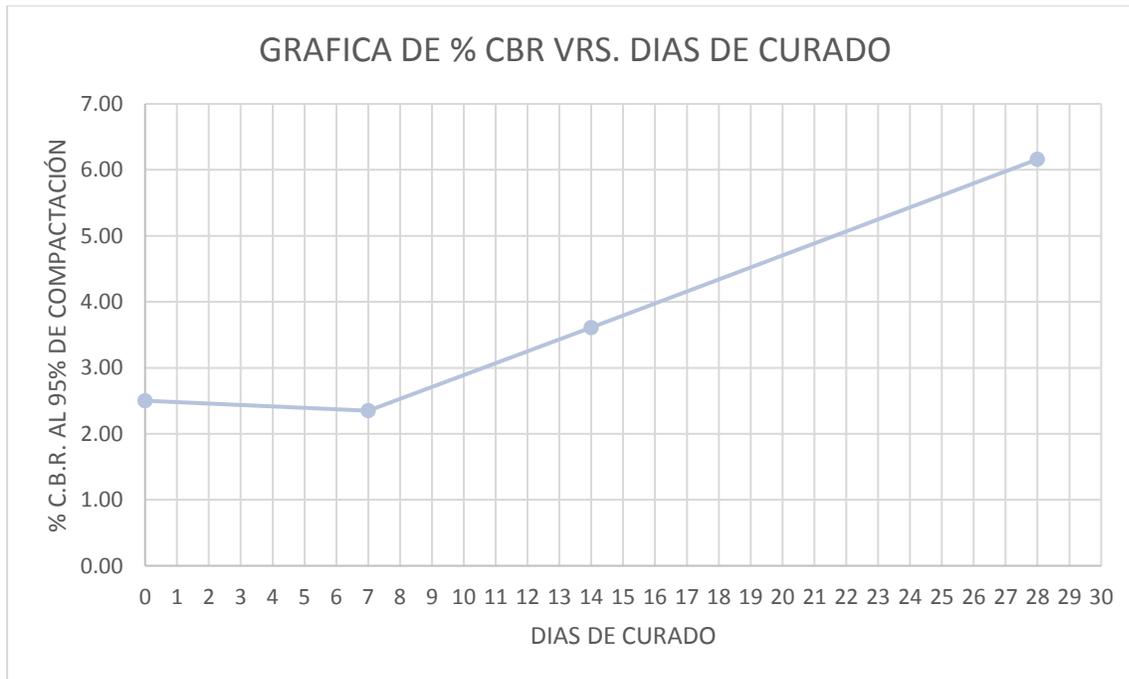
Tabla XX. **Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 3**

Ensayo no.	Días de curado	Expansión (%)	% C.B.R. al 95% de compactación
1*	0	4,07	2,50
2	7	2,12	2,35
3	14	4,12	3,61
4	28	4,45	6,16

*corresponde a muestra sin polímero, no necesita curado.

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Porcentaje CBR vs días de curado, muestra 3**



Fuente: elaboración propia.

5.3. Análisis comparativo de resultados obtenidos

El coeficiente de permeabilidad se incrementó en las muestras de suelos conforme el polímero como estabilizador químico se iba curando, esto se debe, probablemente, a que este funciona creando una red que unifica el suelo, sin embargo, los vacíos del mismo quedan libres para que fluya el agua de forma libre.

No obstante, para la muestra No. 2 y 3 se dio un fenómeno interesante en el cual las muestras fueron capaces de permear un mayor volumen de agua cuando únicamente contaban con 7 días de curado, superando la permeabilidad obtenida a más días de curado, dando por consiguiente que los gráficos comparativos no presenten una tendencia gradual en el aumento del coeficiente de permeabilidad como ocurre en el caso de la muestra No.1. La razón de ello, es que al contar únicamente con 7 días de curado, el polímero, al estar en contacto con agua en un tiempo tan corto se diluye nuevamente provocando que permita la fluidez del agua de forma más rápida, debido a los vacíos que quedan donde hubo polímero y, por tanto, el coeficiente de permeabilidad sea numéricamente mayor. Esto no aplica para la muestra No. 1, clasificada como arena pómez limosa color café, la cual, por su naturaleza porosa no permitió que se diluyera con la misma facilidad a causa de la absorción del mismo en las partículas de pómez, ello provocó que no existiera repercusión en el efecto provocado del polímero con el agua a los 7 días.

De los resultados obtenidos del ensayo de permeabilidad en las muestras de suelo, es importante tomar en cuenta que de acuerdo con el fabricante, una vez los suelos son tratados con el aditivo polimérico en estudio, los mismos son capaces de evitar la filtración de agua y el crecimiento de hierba (se vuelven

impermeables) sin embargo, con base en los resultados obtenidos tal aseveración resulta falsa para las muestras analizadas.

De acuerdo con los resultados obtenidos del ensayo de valor soporte California a la muestra 1, el suelo aumenta su resistencia al corte en los 7 y 14 días levemente, sin embargo, a los 28 días de curado muestra un valor de porcentaje de CBR de 87,14% que lo hace apto como base, debido al comportamiento que el polímero presenta en el suelo, este puede ser utilizado en caminos no pavimentados, ya que de acuerdo con las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos de Guatemala, debe tener un CBR determinado por el método AASHTO T-193, mínimo de 40 para sub-base y 70 para la base, efectuada sobre muestra saturada, a 95% de compactación determinada por el método AASHTO T-180 y un hinchamiento máximo de 0.5% en el ensayo efectuado por el método AASHTO T-193.

Los resultados obtenidos del ensayo de valor soporte California a la muestra 2, presenta que el suelo conforme transcurre los días de curado este aumenta su valor, pero en pequeños intervalos, sin embargo, al igual que la muestra 1, a los 28 días de curado esta aumenta considerablemente hasta un valor de %CBR de 256,43%, un valor más allá de lo mínimo requerido para ser utilizado en caminos no pavimentados de acuerdo con la Dirección General de Caminos de Guatemala, como se cita en el párrafo anterior.

Según los resultados de valor soporte California para la muestra 3, se determina que la misma presentó un incremento en su valor de resistencia al corte, sin embargo, siendo el mismo de 6,16% de CBR a una compactación del 95% se encuentra muy por debajo de lo requerido para una base de acuerdo con las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, se

deduce la poca efectividad del aditivo polimérico a causa de la plasticidad que presenta el suelo, un parámetro que no es modificado por él.

CONCLUSIONES

1. Es posible utilizar de manera limitada un producto a base de polímeros, como estabilizador químico del suelo en la construcción de carreteras no pavimentadas.
2. Se Investigó que las propiedades que el aditivo polimérico proporcionan al suelo son mecánicas. Entre las características que plantea el fabricante están el aumentar el valor soporte del suelo y la disminución de la permeabilidad.
3. Se definió, mediante el ensayo de compactación Proctor, que las proporciones de agua/aditivo que requiere cada tipo de suelo son, para la muestra No.1 cuatro partes de agua y una parte de aditivo, para la muestra No.2 seis partes de agua y una parte de aditivo, y para la muestra No.3 seis partes de agua y una de aditivo.
4. De los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras de suelo, se determina que, la muestra No.1 es una arena pómez limosa color café no plástica, la muestra No.2 es una arena y grava color gris no plástica, y la muestra No.3 es un limo con presencia de arena fina color café oscuro de baja plasticidad. Para el desempeño mecánico del suelo sin el uso del aditivo se determinó que, únicamente la muestra No.2 cumple con las especificaciones dadas por la dirección general de caminos en cuanto al valor soporte del suelo para sub bases y bases en carreteras de terracería.

5. Se determinó que las características físicas del suelo no cambiaron al aplicar el aditivo polimérico en las muestras. Así mismo, el desempeño mecánico con el uso del aditivo polimérico cumple con los valores mínimos requeridos por la dirección general de caminos para la muestra No.1 y No.2.

6. Se determinó que el hinchamiento para las tres muestras de suelo sin el uso del aditivo fue, para la muestra No.1 es 0,59%, para la muestra No.2 es 0,44% y para la muestra No.3 es 4,07%. Así mismo se determinaron los valores de hinchamiento para las muestras de suelo con el uso del aditivo, los cuales fueron, para la muestra No.1 de 0,09%, para la muestra No.2 de 0,0% y para la muestra No.3 de 4,45%.

7. Al comparar los resultados obtenidos de la caracterización de los suelos con aditivo y sin aditivo, se puede deducir que, el aditivo polimérico en estudio no es efectivo en la muestra No.3 por ser un suelo con alto contenido de material fino y presentar plasticidad.

RECOMENDACIONES

1. Según las características que el aditivo presenta en sus especificaciones de fabricante, este ofrece una duración de 5 años en la que los caminos estabilizados se encuentren en buen estado, por lo que resultaría útil un estudio a largo plazo que pueda medir el desempeño que ofrece el polímero a lo largo del tiempo a manera de ver su efectividad no solo en el corto plazo.
2. En caso de pretender utilizar el aditivo polimérico se recomienda un estudio de suelos con la finalidad de conocer la proporción de aditivo que presente el mejor desempeño, con el objetivo de contar con la información suficiente para optar por su uso o declinar del mismo.
3. Tomar en cuenta el desgaste que puedan sufrir suelos con características similares a la muestra No.2 ya por ser un suelo arenoso, ya que se pretende usar como carpeta de rodadura.
4. Al utilizar el aditivo para suelos con características similares a las muestras No.1 y No.2 Se recomienda analizar el impacto que tendrá la humedad en la sub-rasante ya que el aditivo aumenta el coeficiente de permeabilidad en los suelos.
5. Analizar el desempeño en suelos con bajo contenido de finos plásticos para determinar la efectividad del aditivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Association the brick industry. [en línea]. <<http://www.generalshale.com/pdf/BIaporcentaje20techporcentaje20Noteporcentaje2048porcentaje20sustainability.pdf>> [Consulta: Junio de 2017]
2. BLÁZQUEZ, Luis Bañón y BEVIÁ, José F. *Manual de Carreteras 2*. México: McGraw-Hill, 2001. 388 p.
3. BOWLES, Joseph E. *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. Colombia: McGraw-Hill, 1980. 225 p.
4. DEL VAL MELÚS, Miguel Ángel. *Ingeniería de carreteras*. España: McGraw-Hill, 2004. 584 p. ISBN: 8448139984
5. Dirección General de Caminos. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Litografía Guatemalteca, 2001.
6. FREDERICK, Merritt. *Manual del Ingeniero Civil*. 1a ed. México: McGraw-Hill, 1983. 736p.
7. ECHEVERRÍA G. *Estabilización Química de Suelos*. [en línea]. <www.ricuc.cl/index.php/ric/article/viewFile/323/pdf> [Consulta: junio de 2017].

ANEXOS

Anexo 1. Ensayo de límites de Atterberg



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



INFORME No. 161 S.S.

O.T.: 30.498

No. 13343

Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González

Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de camlinas no pavimentadas"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Sección Mecánica de Suelos

FECHA: miércoles, 23 de mayo de 2018

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	N.P.	N.P.	ML	Arena Pómez Limosa Color Café

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,



Ing. Omar Enrique Magaña Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo.Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CIIUSAC





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio T-6, Ciudad Universitaria, zona 12
Teléfono directo: 2418-9116, Plania: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-5121
Página web: <http://ol.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 3. Ensayo de permeabilidad muestra 1, suelo en estado natural

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
		No. 13345
	INFORME No.: 163 S.S.	O.T. No.: 38,498
INTERESADO:	Javier Marco Tulio Méndez González	
PROYECTO:	Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"	
ASUNTO:	Ensayo de Permeabilidad Cabeza Constante por el método de molde de pared rígida	
NORMA:	ASTM D 5856-00	
UBICACIÓN:	Sección Mecánica de Suelos	
MUESTRA No.:	1	
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arena Pómez Limosa Color Café	
FECHA:	miércoles, 23 de mayo de 2018	
<u>RESULTADO DEL ENSAYO:</u>		
	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD =	1.4×10^{-05} cm/s
OBSERVACIONES:	Muestra proporcionada por el interesado.	
	Atentamente,	
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez Jefe Sección Mecánica de Suelos	Vo. Bo.	 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CI/USAC
<small>FACULTAD DE INGENIERIA URAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-8115, Planta: 2418-0000 Ext. 88208 y 88221 Fax: 2418-8121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 4. Ensayo de compactación



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



No. 13346

INFORME No. 184 S.S.

O.T.: 38,488

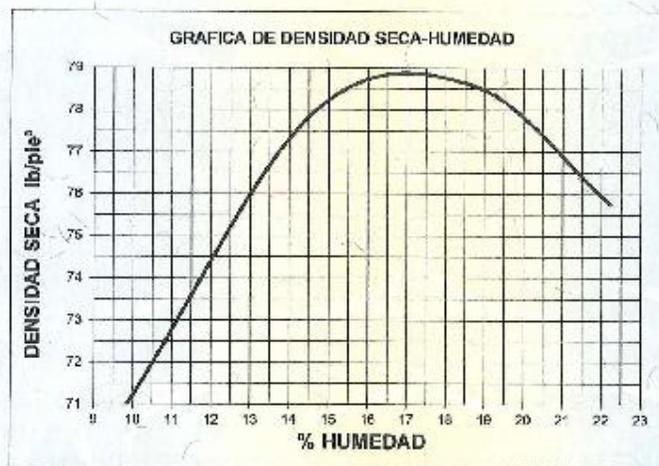
Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.

Proctor Estándar: () Norma: A.A.S.H.T.O. T-99
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180

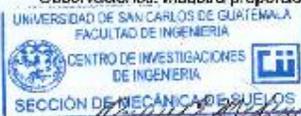
Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"

Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018

Muestra: 1



Descripción del suelo: Arena Pómez Limosa Color Café
Densidad seca máxima γ_d : 1,263.98 Kg/m³ 78.90 lb/ft³
Humedad óptima H_{op} : 17.00 %
Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Atentamente,

Vo. Bo.

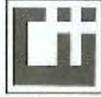
Ing. Francisco Javier Quiñóniz de la Cruz
DIRECTOR CI/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA - USAC -
Edificio 1-5, Ciudad Universitaria zona 12
teléfono directo: 2418-9115, Planas: 2418-8000 Exts. 86208 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 5. Ensayo de razón soporte de California (CBR)



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



INFORME No. 185 S.S.

O.T. No. 38,499

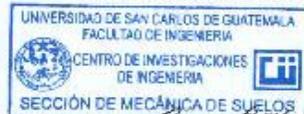
No. 13347

Interesado: Javier Marco Tullio Méndez González
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: Trabajo de Graduación 'Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados'
 Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
 Descripción del suelo: Arena Pómez Liriosa Color Café
 Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018 Muestra: 1

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_s (Lb/pe ³)			
1	10	17.00	88.94	87.9	0.65	13.50
2	30	17.00	74.35	94.2	0.89	32.20
3	85	17.00	78.38	99.3	0.59	44.70



Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.
Atentamente,



Ing. Omar Enrique Madrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio I-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono director: 2418-8118, Planteo: 2418-8000 Exts. 86208 y 85221 Fax: 2410-8121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 6. Ensayo de compactación, muestra 1

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
		No. 13348
INFORME No. 106 S.S.		O.T.: 38,499
Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González	Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.	Proctor Estándar: () Norma: A.A.S.H.T.O. T-99
Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"		Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180
Ubicación: Sección Mecánica de Suelos	Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2016	Muestra: 1

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD



% Humedad	Densidad Seca (lb/ft³)
14.0	81.0
14.5	82.5
15.0	84.0
15.5	84.5
16.0	82.0
16.5	81.5
17.0	81.5

Descripción del suelo:	Arena Pómez Limosa Color Café + Polímero	
Densidad seca máxima γ_d :	1,263.98 Kg/m ³	78.90 lb/ft ³
Humedad óptima w_{op} :	17.00 %	
Observaciones:	Muestra proporcionado por el interesado. Polímero diluido en diferentes proporciones con agua.	

Atentamente,

 Ing. Omar Enrique Madriano Méndez Jefe Sección Mecánica de Suelos	Vo. Bo.	 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CI/USAC
---	---------	--

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio 1-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono oficina: 2418-8115, Planta: 2418-8000 Exts. 66238 y 66221 Fax: 2418-8121
Página web: <http://cil.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 7. Ensayo de razón soporte California (CBR)



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



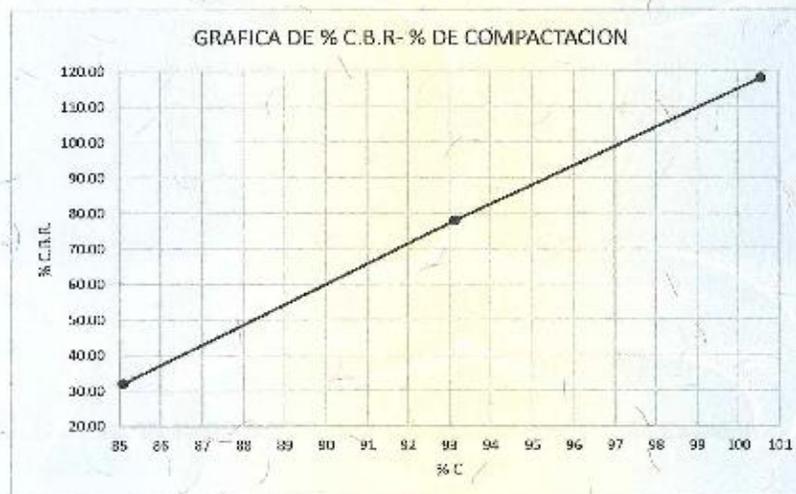
INFORME No. 167 S.S.

O.T. No. 36,499

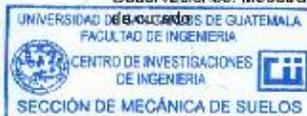
No. 13349

Interesado: Javier Marco Tuli Méndez González
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-183
 Proyecto: Trabajo de Graduación 'Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados'
 Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
 Descripción del suelo: Arena Pómez Limosa Color Café + Polímero
 Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018 Muestra: 1

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C	EXPANSION	C.B.R.
No.	No.	H (%)	V_v (Lb/pt ² ·S)	(%)	(%)	(%)
1	10	17.00	67.13	85.1	0.15	31.96
2	30	17.00	73.49	83.1	0.11	76.00
3	65	17.00	79.34	100.6	0.09	118.03



Observaciones: Muestra de suelo y polímero proporcionada por el interesado. Ensayado a 28 días



Atentamente,

Ing. Omar Enrique Magrino Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Do.

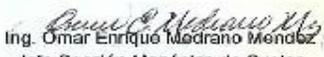
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CIJUSAC



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio T-6, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115. P. ext: 2418-9000 Ext. 98209 y 98221 Fax: 2418-9124
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 8. Ensayo de permeabilidad, muestra 1

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
		No. 13350
INFORME No.: 168 S.S.	O.T. No.: 38,499	
INTERESADO: Javier Marco Tulio Méndez González		
PROYECTO:	Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polimeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"	
ASUNTO:	Ensayo de Permeabilidad Cabeza Constante por el método de molde de pared rígida	
NORMA:	ASTM D 5856-00	
UBICACIÓN:	Sección Mecánica de Suelos	
MUESTRA No.: 1		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arena Pómez Limosa Color Café + Polímero	
FECHA:	miércoles, 23 de mayo de 2018	
<u>RESULTADO DEL ENSAYO:</u>		
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD =	1.44 x 10⁻⁰³ cm/s	
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado. Se dieron 28 días de curado previo al ensayo.		
	Atentamente,	
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez Jefe Sección Mecánica de Suelos	Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CIMUSAC	
<small>FACULTAD DE INGENIERIA -USAC- Edificio T-6, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Plateria: 2418-0000 Exts. 98209 y 98221 Fax: 2418-9121 Página web: http://ci.usac.edu.gt</small>		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 9. Ensayo de límites de Atterberg, muestra 2



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



INFORME No. 199 S.S.

O.T.: 38,489

No. 13351

Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González

Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Sección Mecánica de Suelos

FECHA: miércoles, 23 de mayo de 2018

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	L.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	2	N.P.	N.P.	ML	Arena y Grava Color Gris

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

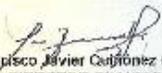
Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,



Ing. **Enrique Méndez Méndez**
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo.Bo.



Ing. **Francisco Javier Quijón de la Cruz**
DIRECTOR CII/USAC

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-5115, Planta: 2418-6000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-8121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 10. Análisis granulométrico, muestra 2



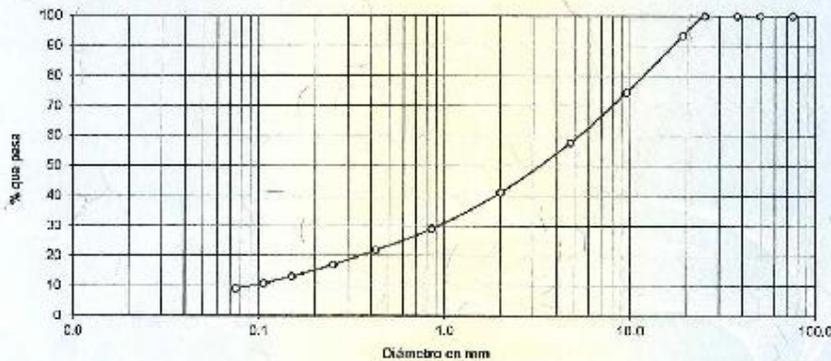
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. 13352

Informe No.: 170 S.S. O.T.: 38,499
 Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo
 Norma: ASTM D6913-04
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"
 Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
 Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018 Muestra: 2

Análisis con Tamices:					
Tamiz	Apertura	% que pasa	Tamiz	Apertura	% que pasa
3"	75 mm	100.00	10	2.00 mm	41.14
2"	50 mm	100.00	20	850 µm	28.99
1 1/2"	37.5 mm	100.00	40	425 µm	21.93
1"	25 mm	100.00	60	250 µm	17.06
3/4"	19.0 mm	93.44	100	150 µm	13.17
3/8"	9.5 mm	74.46	140	106 µm	10.81
4	4.75 mm	57.68	200	75 µm	9.14



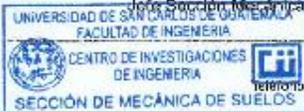
Descripción del suelo: Arena y Grava Color Gris
 Clasificación: S.C.U.: SW-SM % de Grava: 42.32 D₁₅: 0.09 mm
 P.R.A.: A-1-a % de Arena: 48.54 D₃₀: 0.60 mm
 % de finos: 9.14 D₆₀: 5.20 mm

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.
 * Diámetro efectivo no aplica.

Atentamente,

Ing. Omar Enrique Meltrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

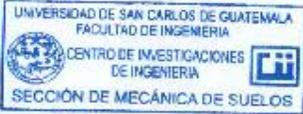
Vo.Bo. Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz
 DIRECTOR CIAUSAC



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria, zona 12
 Teléfono directo: 2413-9115, Planta: 2413-0000 Exts. 96205 y 93281 Fax: 2413-8121
 Página web: http://ci.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 11. Ensayo de permeabilidad, muestra 2

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
		No. 13353
INFORME No.: 171 S.S.	O.T. No.: 38.499	
INTERESADO: Javier Marco Tulio Méndez González		
PROYECTO:	Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"	
ASUNTO:	Ensayo de Permeabilidad Cabeza Constante por el método de molde de pared rígida	
NORMA:	ASTM D 5858-00	
UBICACIÓN:	Sección Mecánica de Suelos	
MUESTRA No.: 2		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arena y Grava Color Gris	
FECHA:	miércoles, 23 de mayo de 2018	
<u>RESULTADO DEL ENSAYO:</u>		
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD =	2.6×10^{-5} cm/s	
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.		
	Atentamente,	
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez Jefe Sección Mecánica de Suelos	Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CII/USAC	
<small>FACULTAD DE INGENIERIA -USAC- Edificio I-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono director: 2418-9115, Móvil: 2418-9000 Exts. 08208 y 98221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usc.edu.gt</small>		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 12. Ensayo de compactación, muestra 2



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



No. 13354

INFORME No. 172 S.S.

O.T.: 38,469

Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"

Proctor Estándar: () Norma: A.A.S.H.T.O. T-99
 Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180

Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
 Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018 Muestra: 2

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD



Descripción del suelo: Arena y Grava Color Gris
 Densidad seca máxima γd: 1,986.96 Kg/m³ 124.03 lb/pe³
 Humedad óptima Hop.: 9.05 %
 Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 DIRECTOR CIIUSAC



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
 SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS



FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
 Edificio T 5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono directo: 2418-6116, Planta: 2418-6003 Exts. 06209 y 06221 Fax: 2418-6121
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 13. Ensayo de razón soporte California (CBR), muestra 2



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



INFORME No. 173 S.S.

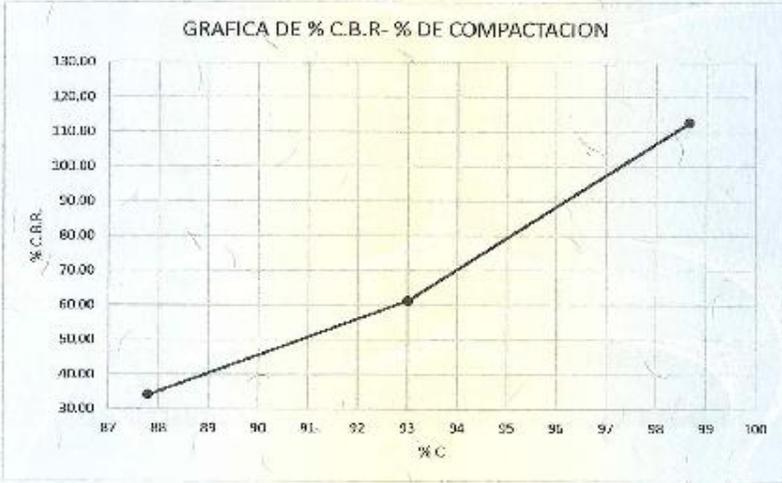
O.T. No. 38,499

No. 13355

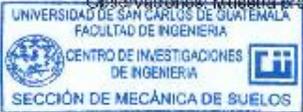
Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O-T-193
 Proyecto: Trabajo de Graduación 'Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados'
 Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
 Descripción del suelo: Arena y Grava Color Gris
 Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018 Muestra: 2

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	W ₁ (Lb/pie ³)			
1	10	9.05	108.89	87.8	0.44	34.09
2	30	9.05	115.36	93.0	0.15	61.33
3	65	9.05	122.37	98.7	0.44	112.71

GRAFICA DE % C.B.R.- % DE COMPACTACION



Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.
Atentamente,



Ing. Omar Enrique Melgarejo Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Va. Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CIVUSAC



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio 3-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono director: 2418-9115, Planta: 2418-9300 Exts. 85203 y 88221 Fax: 2418-8121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 14. Ensayo de compactación, muestra 2



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



No. 13356

INFORME No. 174 S.S.

O.T.: 38,499

Interesado: Javier Marco Tullio Méndez González
 Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"

Proctor Estándar: () Norma: A.A.S.H.T.O. T-99
 Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-190

Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
 Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018

Muestra: 2

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD



% HUMEDAD	DENSIDAD SECA (lb/pt³)
7.5	~124.2
8.0	~123.5
8.5	~125.5
9.0	~126.2
9.5	~123.5

Descripción del suelo: Arena y Grava Color Gris + Polímero
 Densidad seca máxima γ_d: 1,885.96 Kg/m³ 124.03 lb/pt³
 Humedad óptima H_{op}: 9.05 %
 Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado. Polímero diluido en diferentes proporciones con agua.

Atentamente,


 Ing. Omar Enrique Madrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Ve. Bp.


 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 DIRECTOR CIUSAC


 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS


 CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
 FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono: 2418-9115. Pórtico: 2418-8000 Exts. 88309 y 88221 Fax: 2418-9121
 Página web: http://ci.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 15. Ensayo de razón soporte California (CBR), 28 días, muestra 2



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



INFORME No. 175 S.S.

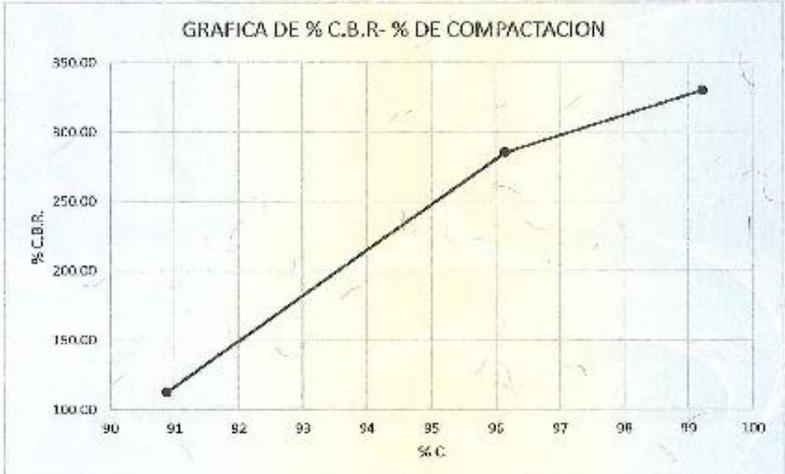
O.T. No. 38.499

No. 13357

Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: Trabajo de Graduación 'Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados'
 Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
 Descripción del suelo: Arena y Grava Color Gris + Polímero
 Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018 Muestra: 2

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d (Lb/plc ³)			
1	10	7.96	112.72	90.8	0.00	112.71
2	30	7.96	119.25	96.1	0.00	285.33
3	65	7.96	123.06	99.2	0.00	329.80

GRAFICA DE % C.B.R.- % DE COMPACTACION



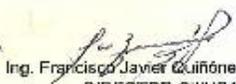
Observaciones: Muestra de suelo y polímero proporcionada por el interesado. Ensayado a 28 días de curado.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



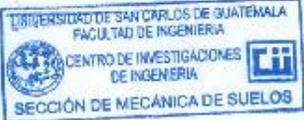
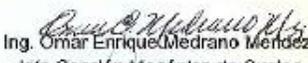
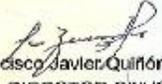
Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz
DIRECTOR CIUSAC



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC
Edificio 1-B, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-8115, Planta: 2418-8000 Exts. 80209 y 80221 Fax: 2418-8121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 16. Ensayo de permeabilidad, 28 días, muestra 2

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
No. 13358		
INFORME No.: 178 S.S.	O.T. No.: 38,499	
INTERESADO: Javier Marco Tulio Méndez González		
PROYECTO:	Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"	
ASUNTO:	Ensayo de Permeabilidad Cabeza Constante por el método de molde de pared rígida	
NORMA:	ASTM D 5856-00	
UBICACIÓN:	Sección Mecánica de Suelos	
MUESTRA No.: 2		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Arena y Grava Color Gris + Polímero	
FECHA:	miércoles, 23 de mayo de 2018	
<u>RESULTADO DEL ENSAYO:</u>		
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD =	1.17 x 10⁻³ cm/s	
OBSERVACIONES:		
Muestra proporcionada por el interesado. Se dieron 28 días de curado previo al ensayo.		
	Atentamente,	
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez Jefe Sección Mecánica de Suelos	Vo. Bo.  Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CIMUSAC	
<small>FACULTAD DE INGENIERIA —USAC— Edificio T-6, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono director: 2418-8115, Planta: 2418-8000 Ext. 36209 y 06221 Fax: 2418-8121 Página web: http://ci.usac.edu.gt</small>		

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 17. Ensayo de límites de Atterberg, muestra 3



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



INFORME No. 177 S.S.

O.T.: 38,496

No. 13359

Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González

Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Sección Mecánica de Suelos

FECHA: miércoles, 23 de mayo de 2018

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	3	44.7	8.3	ML	Limo con Presencia de Arena Fina Color Café Oscuro

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,

Óscar Enrique Medrano Méndez
Ing. Óscar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo.Bo. *Francisco Javier Quiñónez de la Cruz*
Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
DIRECTOR CI/USAC

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS



FACULTAD DE INGENIERIA – USAC –
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planla: 2418-9000 Ext. 88208 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 18. Análisis granulométrico, muestra 3



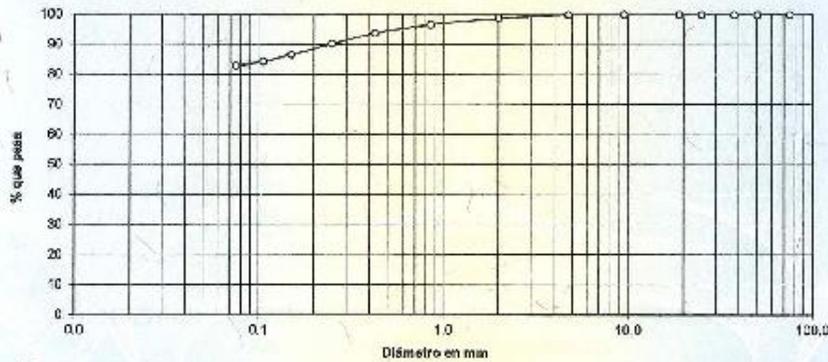
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. 13360

Informe No.: 178 S.S. O.T.: 38,499
Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo
Norma: ASTM D6913-04
Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"
Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018 Muestra: 3

Análisis con Tamices:					
Tamiz	Abertura	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa
3"	75 mm	100.00	10	2.00 mm	88.65
2"	50 mm	100.00	20	850 µm	88.54
1 1/2"	37.5 mm	100.00	40	425 µm	88.86
1"	25 mm	100.00	60	250 µm	80.15
3/4"	19.0 mm	100.00	100	150 µm	88.58
3/8"	9.5 mm	100.00	140	108 µm	84.34
4	4.75 mm	99.94	200	75 µm	82.82



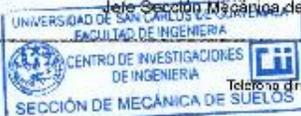
Descripción del suelo: Limo con Presencia de Arena Fina Color Café Oscuro
Clasificación: S.C.U.: ML % de Grava: 0.06 D10: *
P.R.A.: A-5 % de Arena: 17.12 D30: *
% de finos: 82.82 D60: *

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.
* Diámetro efectivo no aplica.

Atentamente,

Ing. Omar Enrique Méndez Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CI/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA - USAC -
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 8898 y 8899 Fax: 2418-9171
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 19. Ensayo de permeabilidad, muestra 3

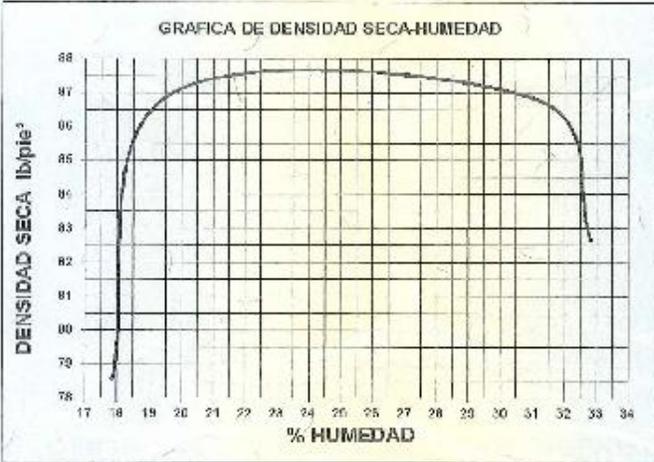
	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
No. 13361		
INFORME No.: 179 S.S.	O.T. No.: 38,499	
INTERESADO:	Javier Marco Tulio Méndez González	
PROYECTO:	Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"	
ASUNTO:	Ensayo de Permeabilidad Cabeza Variable por el método de molde de pared rígida	
NORMA:	ASTM D 5856-00	
UBICACIÓN:	Sección Mecánica de Suelos	
MUESTRA No.:	3	
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Limo con Presencia de Arena Fina Color Café Oscuro	
FECHA:	miércoles, 23 de mayo de 2018	
<u>RESULTADO DEL ENSAYO:</u>		
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD =	1.58×10^{-6} cm/s	
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.		
Atentamente,		
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez Jefe Sección Mecánica de Suelos	Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz DIRECTOR CIUSAC	
	<small>FACULTAD DE INGENIERIA – USAC – Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono director: 2418-9115, Mañan: 2418-8000 Ext. 96208 y 96221 Fax: 2418-9121 Página web: http://ci.usac.edu.gt</small>	

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 20. Ensayo de compactación, muestra 3

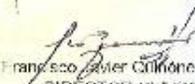
	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
		No. 13362
INFORME No. 180 S.S.		O.T. 38,499
Interesado: Javier Marco Tuli Méndez González	Proctor Estándar: <input type="checkbox"/> Norma: A.A.S.H.T.O. T-99	
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.	Proctor Modificado: <input checked="" type="checkbox"/> Norma: A.A.S.H.T.O. T-180	
Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la		
Ubicación: Sección Mecánica de Suelos		
Fecha: Miércoles, 23 de mayo de 2018	Muestra: 3	

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD



% Humedad	Densidad Seca (lb/ft³)
18	78
19	85
20	86.5
21	87
22	87.2
23	87.3
24	87.4
25	87.5
26	87.5
27	87.4
28	87.3
29	87.2
30	87
31	86.5
32	85
33	82

Descripción de suelo:	Limo con Presencia de Arena Fina Color Café Oscuro	
Densidad seca máxima γ _d :	1,406.06 Kg/m ³	87.80 lb/ft ³
Humedad óptima H _{op} :	25.60 %	
Observaciones:	Muestra proporcionado por el interesado. Atentamente,	

 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez	Vo. Bo.	 Ing. Francisco Javier Colón de la Cruz DIRECTOR CIUSAC
---	---------	--

 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA		FACULTAD DE INGENIERIA – USAC – Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono: 2-418-8000 Ext. 86200 y 86221 Fax: 2-418-8121 Página web: http://ci.usac.edu.gt
--	---	---

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 21. Ensayo de razón soporte California (CBR), muestra 3



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



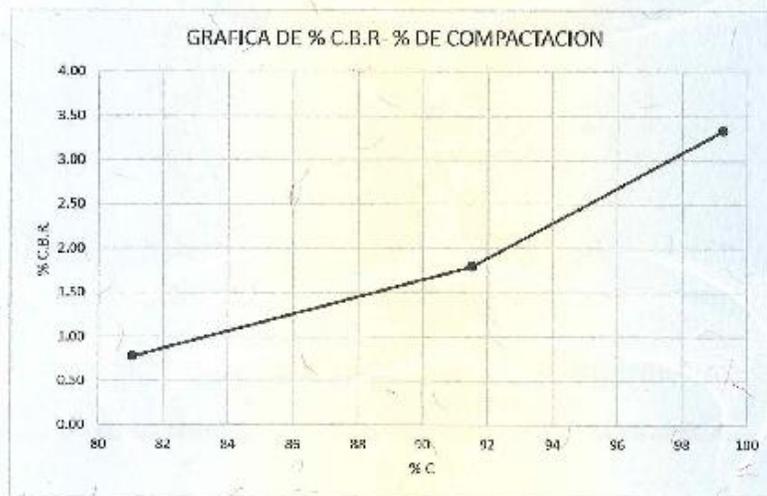
INFORME No. 181 S.S.

O.T. No. 38,468

No. 13363

Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"
 Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
 Descripción del suelo: Limo con Presencia de Arena Fina Color Café Oscuro
 Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018 Muestras: 3

PRÓBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d (Lb/pla ³)			
1	10	23.50	71.16	81.0	2.62	0.78
2	30	23.50	80.98	91.5	3.05	1.60
3	85	23.50	87.13	99.2	4.07	3.33



Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.
Atentamente,

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

Vo. Bo.
Ing. Omar Enrique Melgarejo Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
DIRECTOR CIIUSAC



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC-
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-8115, Planta: 2418-8003 Exts. 86208 y 86221 Fax: 2418-8121
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 22. Ensayo de compactación, muestra 3



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



No. 13364

INFORME No. 182 S.S.

O.T.: 38,499

Interesado: **Javier Marco Tullio Méndez González**
 Asunto: **ENSAYO DE COMPACTACIÓN.**
 Proyecto: **Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"**

Proctor Estándar: () Norma: A.A.S.H.T.O. T-99
 Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180

Ubicación: **Sección Mecánica de Suelos**
 Fecha: **miércoles, 23 de mayo de 2018** Muestra: **3**

GRAFICA DE DENSIDAD SECA-HUMEDAD



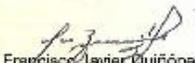
Descripción del suelo: **Limo con Presencia de Arena Fina Color Café Oscuro + Polímero**
 Densidad seca máxima γ_d : **1,406.56 Kg/m³ 87.80 lb/pe³**
 Humedad óptima w_{op} : **23.50 %**
 Observaciones: **Muestra proporcionado por el interesado. Polímero diluido en diferentes proporciones con agua.**

Atentamente,



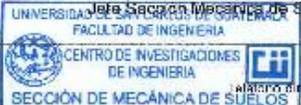
Ing. Omar Enrique Madrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.



Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz
DIRECTOR CIUSAC





FACULTAD DE INGENIERIA - IISAC -
 Edificio T-3, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono: 2418-9113, Planta: 2418-8300 Estd. 86203 y 86221 Fax: 2418-9121
 Página web: <http://ci.usac.usg.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 23. Ensayo de razón soporte California (CBR), 28 días, muestra 3



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



INFORME No. 183 S.S.

O.T. No. 38.499

No. 13365

Interesado: Javier Marco Tulio Méndez González
 Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"
 Ubicación: Sección Mecánica de Suelos
 Descripción del suelo: Limo con Presencia de Arena Fina Color Café Oscuro + Polímero
 Fecha: miércoles, 23 de mayo de 2018 Muestra: 3

PROBETA No.	GOLPES No.	A LA COMPACTACION		C (%)	EXPANSION (%)	C.B.R. (%)
		H (%)	γ_d (Lb/pe ³)			
1	10	21.23	78.65	89.5	3.73	0.76
2	30	21.23	81.48	92.8	2.51	3.00
3	65	21.23	86.80	98.9	4.45	11.58



Observaciones: Muestra de suelo y polímero proporcionada por el interesado. Ensayado a 28 días de curado.

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

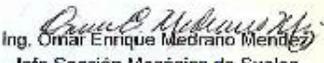
Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
 DIRECTOR CIUSAC



FACULTAD DE INGENIERIA USAC
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
 Teléfono central: 2418-5115. Puntos: 2418-8030 Exts. 89209 y 80221 Fax: 2418-5121
 Página web: <http://cil.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Anexo 24. Ensayo de permeabilidad con aditivo, muestra 3

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	
No. 13366		
INFORME No.: 184 S.S.	O.T. No.: 38,499	
INTERESADO: Javier Marco Tulio Méndez González		
PROYECTO:	Trabajo de Graduación "Análisis de un producto a base de polímeros como estabilizador químico de suelos para la construcción de caminos no pavimentados"	
ASUNTO:	Ensayo de Permeabilidad Cabaza Variable por el método de molde de pared rígida	
NORMA:	ASTM D 5856-00	
UBICACIÓN:	Sección Mecánica de Suelos	
MUESTRA No.: 3		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO:	Limo con Presencia de Arena Fina Color Café Oscuro + Polímero	
FECHA:	miércoles, 23 de mayo de 2018	
<u>RESULTADO DEL ENSAYO:</u>		
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD =	1.44×10^{-5} cm/s	
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado. Se dieron 28 días de curado previo al ensayo.		
Atentamente,		
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez Jefe Sección Mecánica de Suelos	 Vo. Bo. Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz DIRECTOR CIUSAC	
 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS	FACULTAD DE INGENIERIA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Ext. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://ciiusac.edu.gt	

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

