

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MICROPAVIMENTO DE BAJO COSTO PARA SUELO TIPO LIMO ORGÁNICO ARENOSO (OL)

Franco Rojas Ruales¹, Patricio Romero Flores², César Vinueza³

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador, fhrojas@espe.edu.ec

² Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador, peromero@espe.edu.ec

³ Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador, cesarv.2103@gmail.com

RESUMEN

El proyecto de tesis "Metodología de Diseño de Micropavimento de bajo costo para suelo tipo limo orgánico arenoso (OL)", tiene como principal objetivo, brindar al lector una guía básica para el manejo adecuado en la parte de estabilizaciones de suelo de tipo limo orgánico arenoso (OL), y de tipo limo arenoso (OM), ya que para estos dos tipos de suelo se está realizando una estabilización con cemento, cal, emulsión asfáltica y órgano-silanos. Éste documento deberá ser tomado de manera referencial y como ayuda para que los profesionales y usuarios establezcan sus propias especificaciones en sus proyectos en base al tipo de suelo con el que se encuentren, siempre y cuando se encuentren con cualquiera de los dos tipos de suelo anteriormente nombrados; como es de conocimiento general, el diseño de la estructura de un pavimento o micropavimento está en función del porcentaje de CBR de la subrasante o de la base mejorada, por esa razón se realizó la investigación para poder abaratar costos, estabilizando la subrasante. El diseño del micropavimento se lo realizó con emulsión catiónica de tipo CSS-1H-P, ya que ésta emulsión es de rotura lenta, se trabajó con el agregado de la Mina de Pintag, el mismo que sirvió para realizar un micropavimento de tipo 3, en el que su diseño se destaca el estar compuesto del 14.15% de Emulsión Asfáltica, valor obtenido por el Método de Duriez.

Palabras Clave:

- Suelos
- Micropavimentos
- Estabilización
- CBR
- Pavimentos

ABSTRACT

The thesis project " Design Methodology microsurfacing low-cost soil sandy organic silt (OL) type ", whose main objective is to provide the reader a basic guide for the proper management of stabilization in silt soil type sandy organic (OL), and type sandy loam (OM), since for these two soil types is underway stabilization with cement, cal, asphalt emulsion and organosilanes. This document should be taken for reference purposes and as an aid for practitioners and users to establish their own specifications in their projects based on the type of soil they are in, as long as they are with any of the above two types of soil appointed, as is generally known, the design of the structure of a pavement or microsurfacing is based on the percentage of CBR subgrade or improved base, which is why the research was conducted to reduce costs, stabilizing the subgrade. The design microsurfacing it performed with cationic emulsion CSS- 1H-P type as this emulsion is slow break, we worked with the addition Mine Pintag, the same that was used to perform microsurfacing type 3, its design highlights consist of 14.15% of Asphalt Emulsion, value obtained by the method Duriez.

KeyWords:

- Soils
- Micropavements
- Stabilitation
- CBR
- Pavements

1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país que se encuentra en desarrollo, el mismo que sus actividades económicas son la extracción y venta del petróleo, la agricultura y el turismo, y muchas de las veces la falta de vialidad ha sido uno de los problemas para que los agricultores no puedan sacar sus productos a la venta, y también a limitado en el turismo. La presente investigación, consiste en realizar un diseño de bajo costo de un micropavimento con los agregados de la mina de Pintag, realizando una previa estabilización del Suelo de tipo Limo Orgánico Arenoso (OL), y de un suelo patrón de tipo Limo Arenoso (ML); la estabilización de éstos suelos se realizará utilizando los materiales estabilizantes más conocidos en el mercado, y son: Cal, Cemento, Emulsión Asfáltica y Organosilanos, a los cuales se realizará ensayos de CBR, Compresión Simple y finalmente de Absorción Capilar; éstos nos servirán para calificar el comportamiento o reacción de los suelos con cada uno de los materiales estabilizantes, y de ésta manera definir el material estabilizante óptimo en el ámbito económico, siempre y cuando garantizando la calidad de éste en el suelo. A través de ésta investigación los Ingenieros podrán utilizar ésta tesis como guía de diseño de micropavimentos de la manera menos costosa, para el caso de vías de tercer orden.

2. ESTADO DEL ARTE

El proyecto de tesis, “METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MICROPAVIMENTO DE BAJO COSTO PARA SUELO TIPO LIMO ORGÁNICO ARENOSO (OL)”, ayudará a los profesionales a tener una herramienta, con la que puedan tener como base o diseño y aplicar ésta metodología para lugares donde exista suelos de tipo Limo orgánico arenoso, la cual se está realizando con un nuevo producto, los organosilanos, lo cual va a permitir realizar a más de una estabilización de suelos, también lograr impermeabilizar los suelos, y de ésta manera lograr mantener la estructura de un pavimento totalmente protegida y no exista daños en la misma.

3. METODOLOGÍA

Se realizaron, el ensayo de CBR, ensayo de Compresión Simple y el Ensayo de Absorción Capilar; ensayos que se utilizaron para estabilizar el suelo tipo limo orgánico arenoso con cemento, cal, emulsión asfáltica y organosilanos, y escoger el material o método de estabilización más óptimo, en la parte tanto económica como técnica, y de esta manera realizar un diseño de un micropavimento en la capa de suelo mejorada.

4. MATERIALES ESTABILIZANTES UTILIZADOS

a. Cemento

Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clinker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso o puzolana, este le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse.

El clinker es el resultado de la calcinación de calizas y arcillas que son extraídas de las canteras y trituradas junto al hierro. (VICAT, 2002).



Fig. 1: Saco de Cemento Comercial

b. Cal

Es un término que designa todas las formas físicas en las que pueden aparecer el óxido de calcio (CaO) y el óxido de calcio de magnesio (CaMgO₂), denominados también, cal viva (o generalmente cal) y dolomía calcinada respectivamente. Estos productos se obtienen como resultado de la calcinación de las rocas (calizas o dolomías). Adicionalmente, existe la posibilidad de añadir agua a la cal viva y a la dolomía calcinada obteniendo productos hidratados denominados comúnmente cal apagada o hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) y dolomía hidratada (CaMg(OH)₄). (J.A.H., 1998).



Fig. 2: Cal Viva

c. Órgano-Silanos

Los enlaces carbono - silicio son más largos en comparación con los enlaces carbono-carbono (longitud de enlace de 186 vs 154 del peso molecular) y son más débiles, con una energía de disociación del enlace de 451 kJ/mol frente a 607 kJ/mol. El enlace C-Si está algo polarizado hacia el carbono debido a su mayor electronegatividad (C=2,55 vs Si=1,90). Una manifestación de la polaridad de estos enlaces en los organosilanos se encuentra en la reacción de Sakurai, la misma que es la reacción química en donde se parte de un compuesto con un carbono electrofílico (comúnmente de una cetona) y se le hace reaccionar con alil silanos por catálisis con ácidos de Lewis fuertes (acepta un par de electrones al mismo tiempo, debe tener su octeto de electrones incompleto). (Butterworth, 1981)

Los Órgano-Silanos son solubles al agua, estables al calor, rayos UV y reaccionan con grupos de silanol propensos a húmedecerse con el agua (hidrofílicos) como arena, limos, arcillas y agregados para convertirlos en uniones Alquil-Siloxano, que son altamente estables y que repelen el agua, formando una membrana transpirable in-situ. (BREM, 2013)

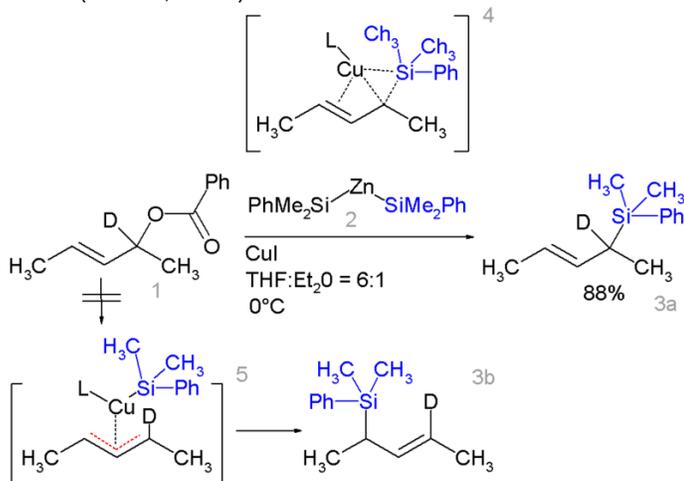


Fig. 3: Distribución Química de los Órgano-silanos

d. Emulsiones Asfálticas:

Son parte de los asfaltos líquidos.

Es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles (no se mezclan), como son el asfalto y el agua, al que se le incorpora una pequeña cantidad de un agente activador de superficie, tenso activo o emulsificante de base jabonosa o solución alcalina, que mantiene en dispersión el sistema, siendo la fase continua el agua y la discontinua los glóbulos del asfalto, en tamaño, entre uno a diez micrones.

El asfalto es emulsificado en un molino coloidal con 40 - 50% por peso de agua que contiene entre 0.5 y 1.5% por peso de emulsificante. Permite la aplicación del asfalto donde no es posible calentar el material.



Fig 4: Planta de Emulsión Asfáltica

Cuando la emulsión se pone en contacto con el agregado se produce un desequilibrio que la rompe, llevando a las partículas del asfalto a unirse a la superficie del agregado.

El agua fluye o se evapora, separándose de las partículas pétreas recubiertas por el asfalto. Existen emulsificantes que permiten que esta rotura sea instantánea y otros que retardan éste fenómeno.

De acuerdo con la velocidad de rotura, las emulsiones asfálticas pueden ser:

- **Emulsiones de Rotura Rápida: RS (Rapid Setting).**- Interactúan rápidamente con el agregado, y revierte la emulsión a asfalto. Forman una capa relativamente dura y principalmente se usan para aplicaciones en spray sobre agregados y arenas de sello, así como penetración sobre piedra quebrada; que por ser de alta viscosidad sirve de impermeabilizante.
- **Emulsiones de Rotura Media MS (Medium Setting).**- No rompen inmediatamente al contacto con el agregado, por esta razón, algunas pueden ser elaboradas en una planta.
- **Emulsiones de Rotura Lenta SS (Slow Setting).**- Son diseñadas para un tiempo prolongado de mezcla con los agregados. Sirven especialmente para una máxima estabilidad de mezclado. Se las emplea para dar un buen acabado con agregados compactos y asegurar una buena mezcla estabilizada.
- **Emulsiones de Rotura Controlada QS (Controlled Setting).**- Son diseñadas para un tiempo controlado de rotura de acuerdo a los requerimientos.

El tipo de emulsión a utilizar depende de varios factores, tales como las condiciones climáticas durante la construcción, tipos de agregados, etc.

Las emulsiones asfálticas deben tener una buena adherencia.

Esta cualidad la confiere el emulsificante, que puede darle polaridad negativa o positiva, tomando el nombre de aniónicas, las primeras, afines a los áridos de cargas positivas y catiónica, las segundas, afines a áridos de cargas negativas; como son las de origen cuarzoso o silíceo.

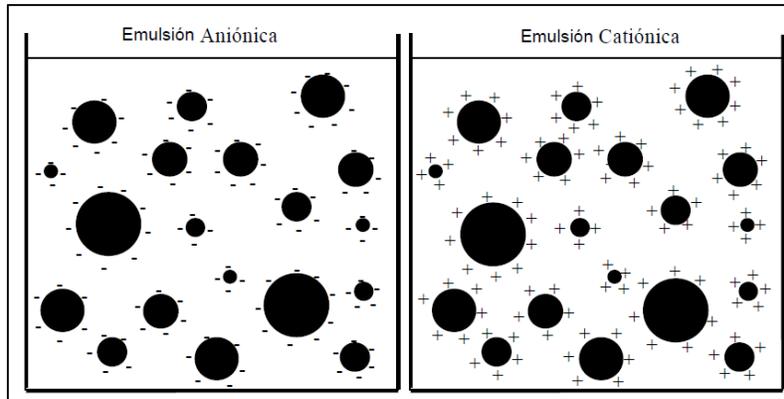


Fig. 5: Tipos de Emulsiones Asfálticas por su Carga Eléctrica

5. ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SUELO

En el presente proyecto de tesis se definió las características del suelo Tipo Limo Orgánico Arenoso en base a otro suelo Patrón, que tiene mejores características, un Suelo Tipo Limo Arenoso, el mismo que servirá como factor comparativo entre los dos suelos, estabilizándolos, y utilizando la misma metodología de estabilización.

Para la estabilización del Suelo tipo Limo Orgánico Arenoso (OL) se hicieron los siguientes ensayos:

- Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)
- Ensayo de Compresión Simple
- Ensayo de Absorción Capilar

Los ensayos anteriormente nombrados se los realizan para cada material tanto para el Cemento, Cal, Emulsión Asfáltica y Organo-Silanos.

5.1. Ensayo de California Bearing Ratio (CBR)

Relación Soporte California (CBR)

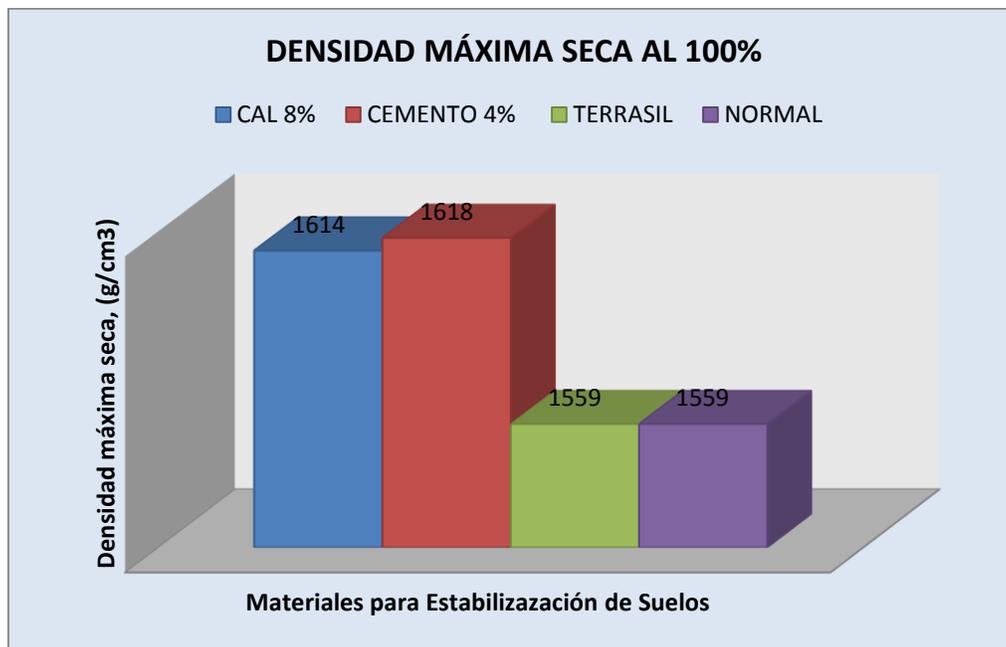


Fig. 6: Gráfica de la Densidad Máxima Seca al 100% para cada uno de los Productos estabilizantes

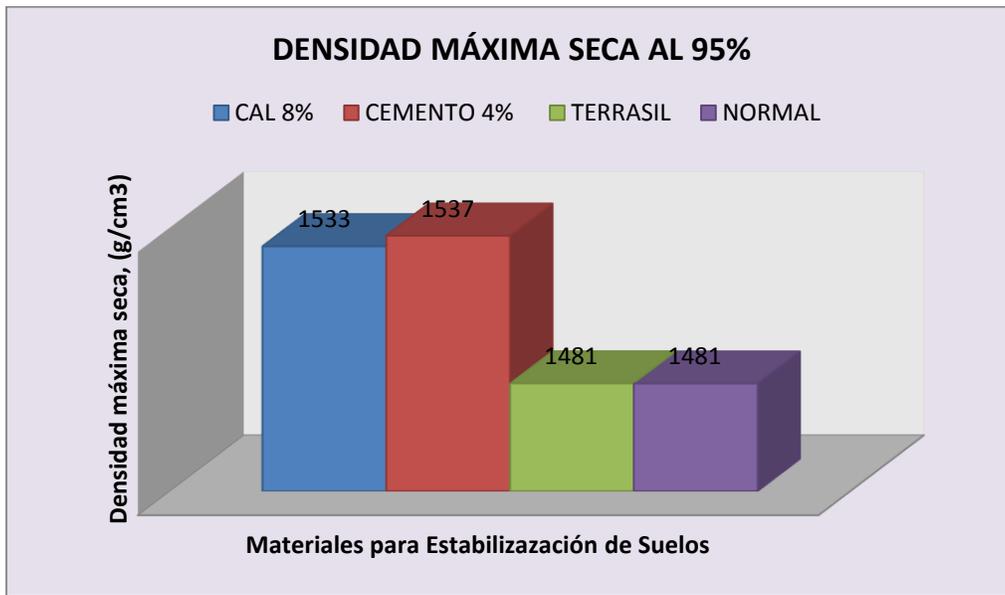


Fig. 7: Gráfica de la Densidad Máxima Seca al 95% para cada uno de los Productos estabilizantes

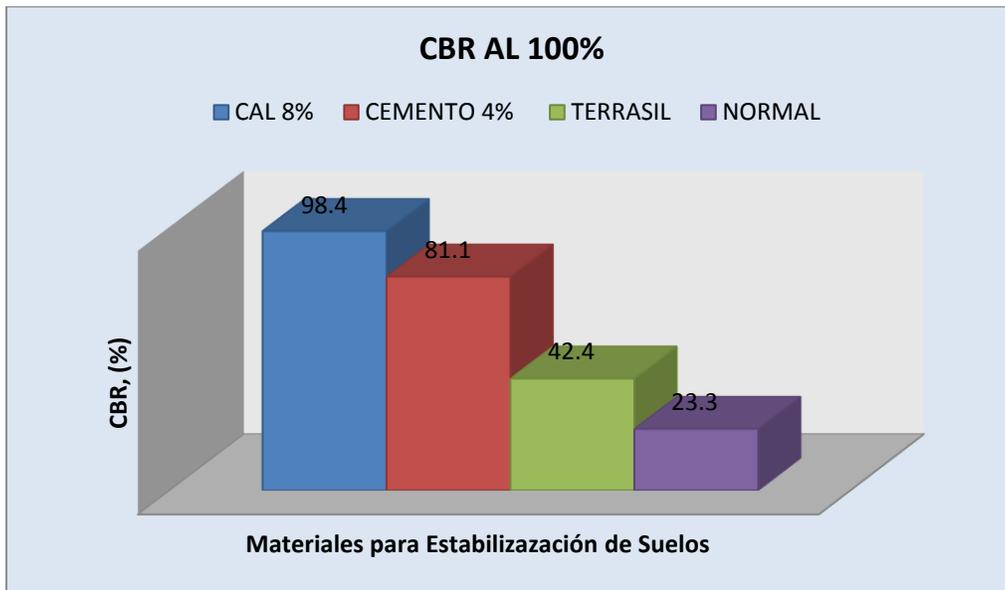


Fig. 8: Gráfica de los valores de CBR al 100% para cada uno de los Productos estabilizantes

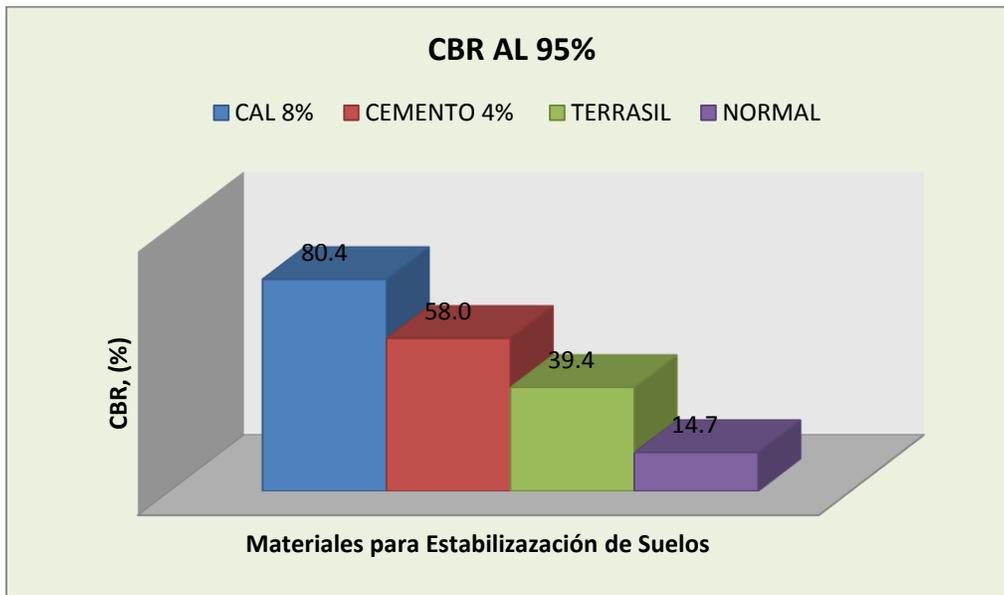


Fig. 9: Gráfica de los valores de CBR al 100% para cada uno de los Productos estabilizantes

Como se puede observar la mejor opción para el caso de un CBR en un suelo limo orgánico arenoso es la cal con el 8%, por sus propiedades naturales que reaccionan y se acoplan de mejor manera a un suelo de componentes orgánicas, pero en el caso de la impermeabilidad es mejor la estabilización con órgano-silanos al 1Kg/cm², aunque el CBR no sea tan alto, pero se podría realizar una mezcla entre cal y órgano-silanos y llegar a obtener un CBR alto y un suelo completamente impermeable.

5.2. Ensayo de Compresión Simple (ASTM D-2126)

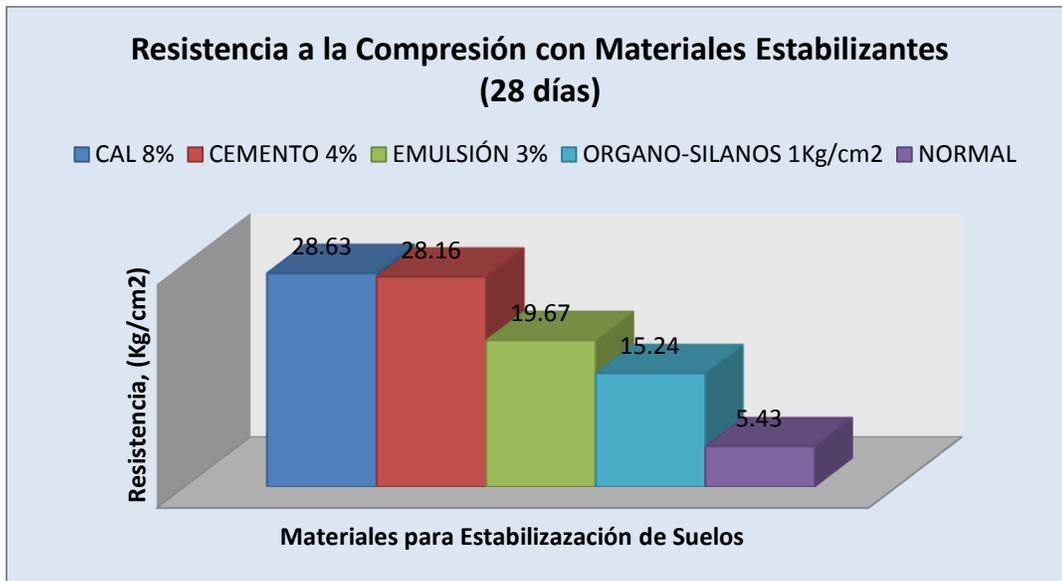


Fig. 10: Gráfica de los valores de Resistencia a la Compresión a los 28 días para cada uno de los Productos estabilizantes

Como se puede apreciar en el gráfico anterior la el valor de la resistencia a la compresión a los 28 dias del 8% de cal, es el valor más alto de todos los materiales estabilizantes.

En cambio como se puede apreciar en el siguiente gráfico, la resistencia a la compresión de todos los materiales estabilizantes, que reaccionan con el suelo limo orgánico arenoso, son similares.

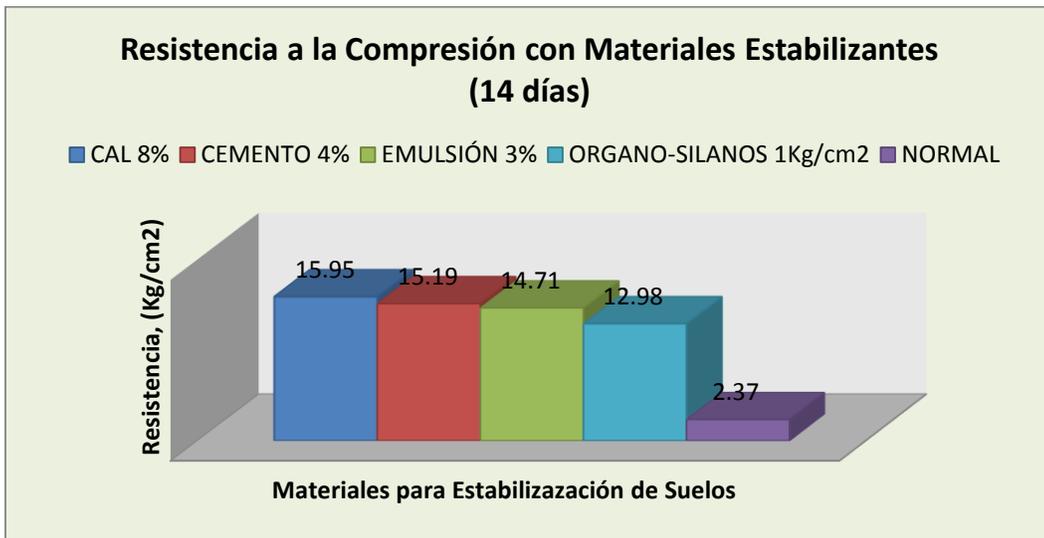


Fig. 11: Gráfica de los valores de Resistencia a la Compresión a los 14 días para cada uno de los Productos estabilizantes

5.3. Absorción Capilar de las Mezclas

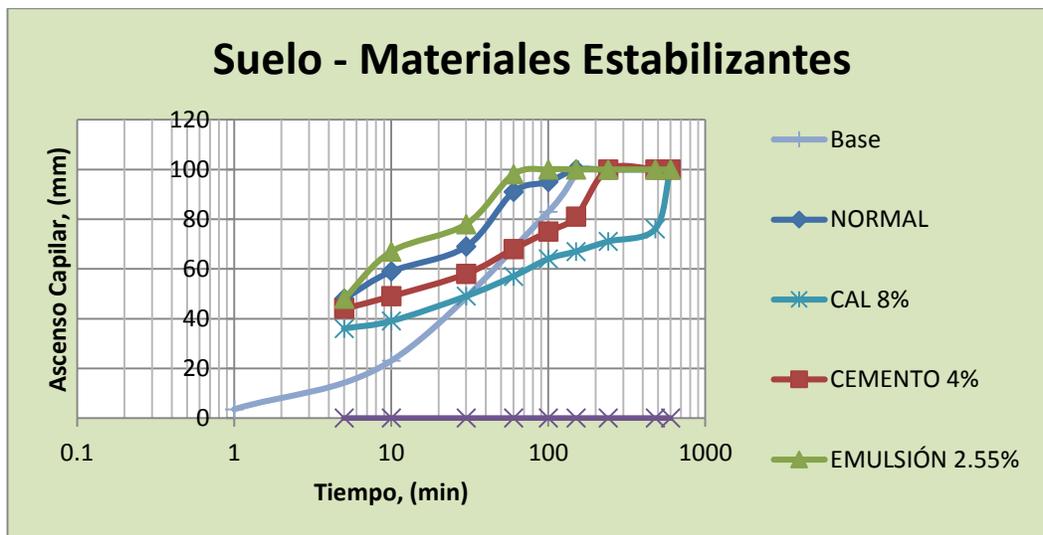


Fig. 12: Gráfica de Ascenso Capilar para cada uno de los Productos estabilizantes en función al tiempo

Como se pudo observar en el gráfico anterior el estabilizar con órgano silanos, es la opción más adecuada, ya que éste material tiene la característica de que le vuelve al suelo completamente impermeable, se podría decir que con éste producto se ha solucionado el problema de todo constructor que es el agua.

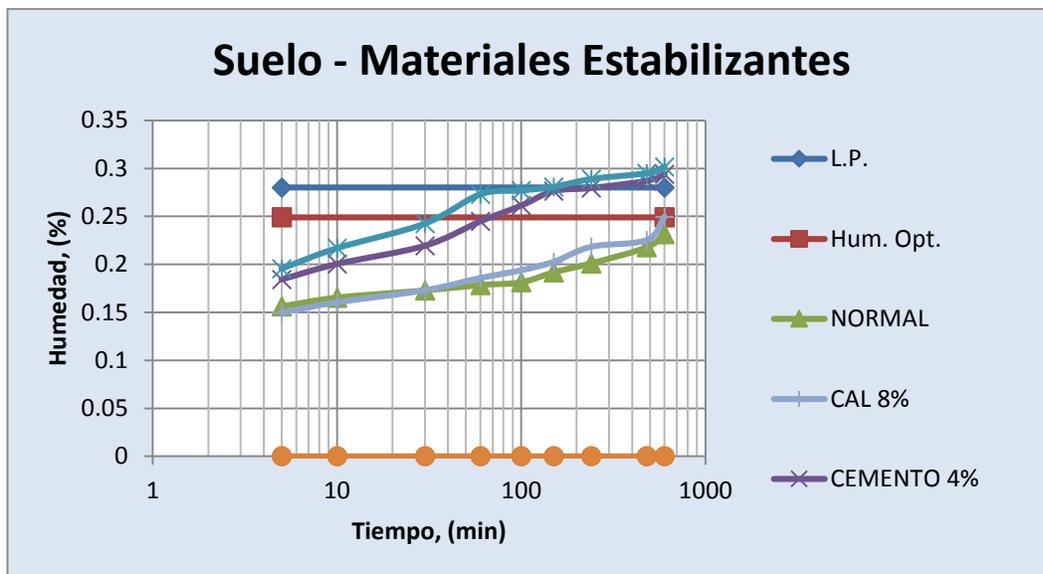


Fig. 13: Gráfica de Incremento de Humedad para cada uno de los Productos estabilizantes en función al tiempo

6. DISEÑO DEL MICROPAVIMENTO

6.1. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS



Fig. 14: Agregado de la Mina de Pintag

- Ensayo de equivalente de arena: (ASTM D-2419)

Tabla I: Cuadro de Datos de Equivalente de Arena

MUESTRA	H(Altura original de la arena antes de introducir el pistón)	h (Altura original de la arena después de introducir el pistón)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)
1	5,1	3,1	60,78%
2	5	3,1	62,00%
PROMEDIO:			61,4%

Se pudo observar que el agregado de Pintag, con el que se va a realizar el micropavimento, tiene 61.4% de arena, por lo tanto es admisible.



Fig. 15: Ensayo de Equivalente de Arena

- **Absorción de Azul de metileno: 6.5 ml – g (ISSA TB -145)**

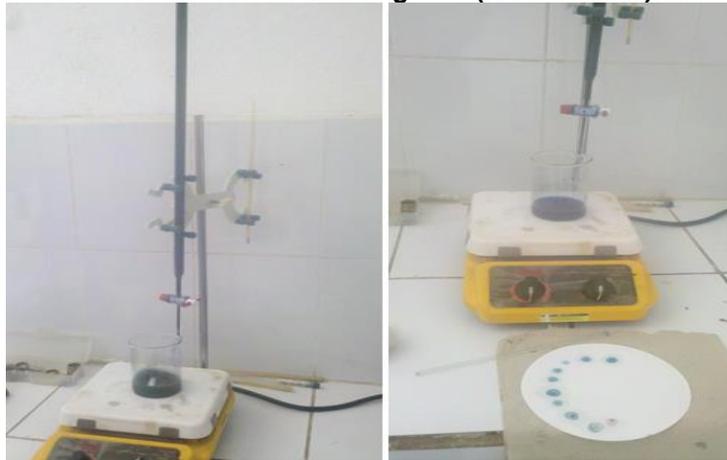


Fig. 16: Ensayo de Azul de Metileno

El agregado es reactivo con 6.5ml de azul de metileno, por lo tanto el agregado de la mina de Pintag si cumple con la norma ISSA T-145, ya que ésta dice que el azul de metileno debe ser menor de 10 mg/g.

- **Granulometría: (ASTM C-136) (TIPO III)**

Para éste ensayo se realiza con los siguientes tamices:

Tabla II: Cuadro de Granulometría Tipo III

TAMIZ	abertura (mm)	retiene acumulado		Pasa (%)	Especificaciones ISSA TIPO III	
		(gr)	(%)		min	max
3/8	9,50	1,565	0,13	99,87	100	100
N4	4,75	198,63	16,32	83,68	70	90
N8	2,36	486,415	39,95	60,05	45	70
N 16	1,18	679,085	55,78	44,22	28	50
N30	0,60	817,69	67,16	32,84	19	34
N50	0,30	932,28	76,58	23,42	12	25
N100	0,15	1028,98	84,52	15,48	7	18
N200	0,075	1106,465	90,88	9,12	5	15
		1217,455	100,00	0,00		

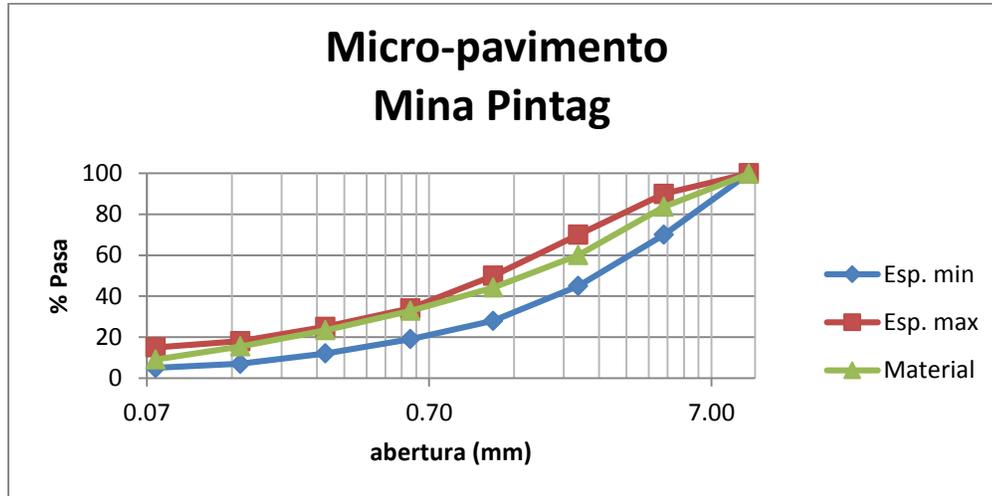


Fig. 17: Gráfica granulométrica para MicroPavimento de Tipo III

Como se pudo observar en la gráfica anterior, la granulometría del agregado de la mina de pintag, calificó en las especificaciones ISSA de tipo III.

6.2. LIGANTE ASFALTICO

El ligante asfáltico que se utilizó para el diseño del micropavimento, es de ruptura lenta, de Tipo **CSS-1H-P**.



Fig. 18: Emulsión Asfáltica de Tipo CSS-1H-P

6.2.1. Emulsión Asfáltica CSS-1H-P

La emulsión utilizada para la fabricación de Micro-pavimento es del tipo catiónica de ruptura lenta modificada con polímero (CSS-1H-P), cuya fórmula maestra se presenta a continuación:

Tabla III: Fórmula Maestra de la Emulsión CSS-1H-P
FORMULA MAESTRA

COMPONENTE	PORCENTAJE
Asfalto AC-20	62,00%
Emulsión	1,20%
Promotor de adherencia (0,1% sobre el asfalto)	0,062%
Plastificante (1% sobre el asfalto)	6,20%
Ácido	0,20%
Polímero (3% sobre el asfalto)	1,86%
Agua	28,48%
TOTAL	100,00%

Obteniendo así los siguientes resultados de laboratorio:

Tabla IV: Características de la Emulsión Asfáltica en base a la Especificación

<i>Ensayo</i>	<i>Resultado</i>	<i>Especificación</i>
Asfalto Residual (%)	62	62
Viscosidad Saybolt Furol @25°C (seg)	33	20 - 100
Penetración en el Residuo (1/10mm)	65	40 -90
Reblandecimiento °C	58	

6.3. FORMULACIONES DE TRABAJO

La metodología utilizada para el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica en la mezcla, es la Metodología ISSA118.

- **Porcentaje Teórico de Emulsión: (ISSA TB-118)**

Espesor promedio capa de Mortero Asfáltico=	5,0 mm
Peso Específico del Asfalto =	1,02 gr/cm ³
Porcentaje de asfalto residual de la Emulsión=	62,00 %
Coefficiente de Conversión de Unidades	0,02047

$$\%L = S.T.A. * t * (0,02047) * (D.B.) = 8,77 \%$$

$$\% E = (\%L * 100) / \%A.R. = \underline{14,15 \% \text{ de emulsión}}$$

Donde:

% L= Contenido de Asfalto Residual sobre el peso del agregado

S.T.A.= Superficie Teórica del Agregado

t = Espesor de la película del mortero asfáltico

0,02047= Coeficiente de conversión de unidades

D.B.= Peso específico del Asfalto

% E= Porcentaje Teórico de Emulsión a aplicar en el Mortero Asfáltico

A.R.= Porcentaje de asfalto residual de la emulsión a utilizar

6.4. Tiempo de Mezclado: (ISSA TB-102)

Tabla V: Cuadro de Tiempos de Mezclado

Agregado (%)	Aditivo (%)	Agua (%)	Emulsión (%)	Tiemp. Mezcla (seg.)	Obsevaciones
100	7	14,1	40	No Cumple
100	8	14,1	>120	Mezcla homogénea
100	9	14,1	>120	Mezcla homogénea
100	9	14,1	>120	Mezcla homogénea

6.5. Ensayo de consistencia (ISSA TB-106)



Fig. 19: Ensayo de Consistencia de la Mezcla Asfáltica

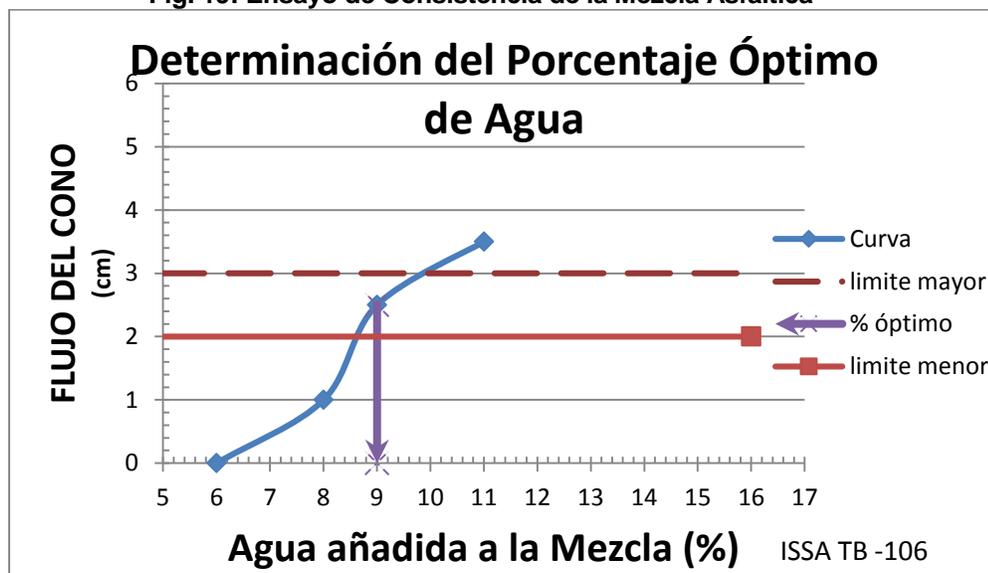


Fig. 20: Gráfica para la determinación del Porcentaje Óptimo de Agua en función al Flujo del Cono

El porcentaje óptimo de agua, según el ensayo fue de 9%.

6.6. Ensayo de cohesión (ISSA TB-139)



Fig. 21: Ensayo de Cohesión al Micropavimento

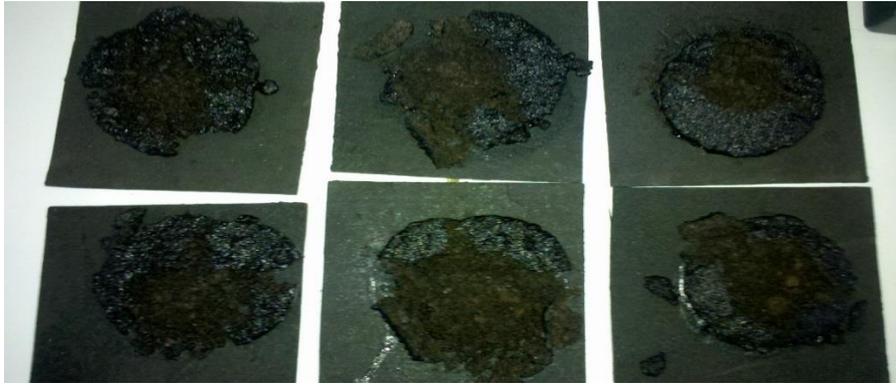


Fig. 22: Muestras ensayadas por Cohesión de Micropavimento a los 30 minutos



Fig. 23: Muestras ensayadas por Cohesión de Micropavimento a los 60 minutos



Fig. 24: Muestras ensayadas por Cohesión de Micropavimento a los 120 minutos

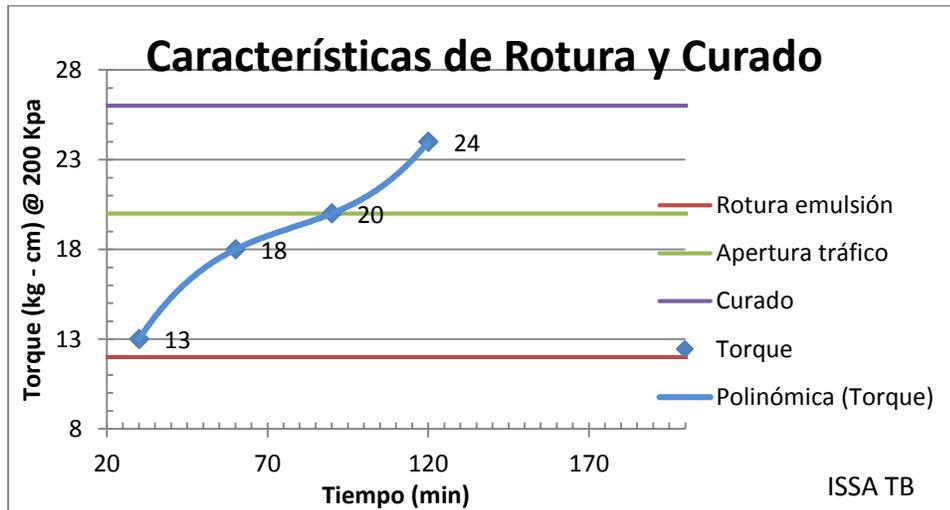


Fig. 25: Características de Curado en Función a la Cohesión que tiene el Micropavimento

El ensayo se realizó chequeando el torque y resistencia de la mezcla que tiene a los 30, 60, 90 y 120 minutos, y apuntando los valores del torque obtenidos en cada uno.

Como se puede apreciar el torque a los 120 minutos de la mezcla de emulsión asfáltica con el agregado trurado (1/8") de la mina de Pintag, obtuvo 24Kg.cm, a una presión de 200KPa, y según la norma ISSA, dice que la apertura del tráfico es a los 20Kg.cm, por lo tanto según el diseño se podría realizar la apertura al tráfico a los 90 minutos. Por lo tanto tiene un curado bastante rápido, ya que esto es beneficioso para cualquier contratista.

6.7. Porcentaje óptimo de emulsión

(Ensayo de Abrasión en Húmedo WTA)



Fig. 26: Moldes de Micropavimento para el Ensayo de Abrasión



Fig. 27: Ensayo de Abrasión en Húmedo del Micropavimento

(Ensayo de Rueda Cargada LWT)



Fig. 28: Ensayo de Rueda Cargada para Micropavimento



Fig. 29: Moldes después del Ensayo de Rueda Cargada

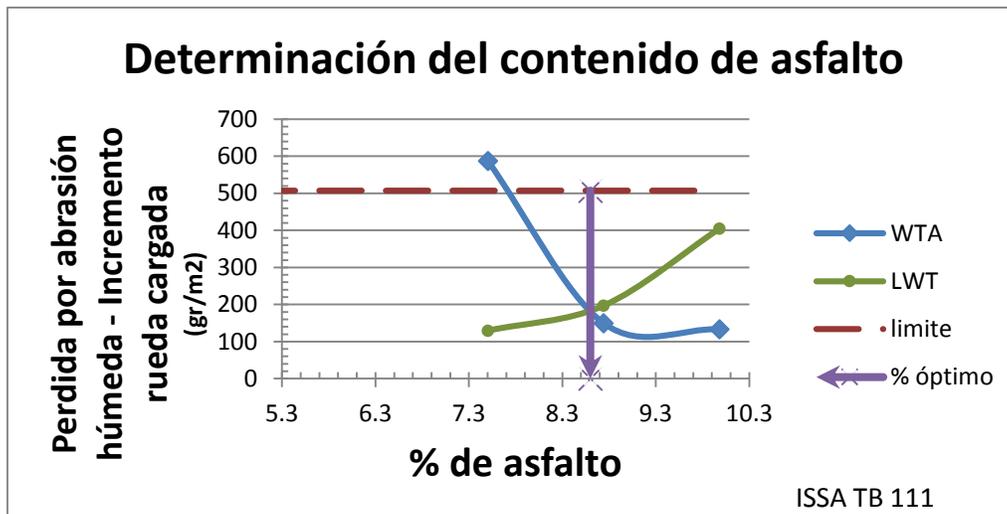


Fig. 30: Gráfica para la Determinación del Contenido de Asfalto en Función a la Pérdida por abrasión e Incremento de Rueda Cargada

Porcentaje óptimo de emulsión 14.15%

Tabla VI: Cuadro de la Fórmula Maestra para el Micropavimento

<i>Fórmula de trabajo para Micro-pavimento Tipo III</i>	Mix
Agregado Mina Pintag	100%
Sol. Al₂(SO₄)₃	0 %
Agua	12%
CSS-1H-P (62% Asfalto Residual+3% polímero)	14.15%
<i>Resultados de pruebas de desempeño</i>	
Tiempo de mezcla @ 20 °C (seg)	>120
Consistencia – Flujo (cm)	2.5
Cohesión 30 min (kg-cm)	13
Cohesión 60 min (kg-cm)	18
Cohesión 90 min (kg-cm)	20
Cohesión 120 min (kg-cm)	24
Abrasión en húmedo (saturación - 1 hora) g/m²	149.69
Rueda cargada (exceso de asfalto) g/m²	196.92

Los resultados del diseño son satisfactorios por lo tanto el micropavimento se elabora con el agregado de la mina de Pintag.

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico que se realizará, será de cuánto cuesta un kilómetro de Micropavimento realizando una estabilización con 4 opciones de materiales estabilizantes para el suelo de tipo limo orgánico arenoso, de los cuales se escogerá la opción más ventajosa en el ámbito económico ofreciendo calidad, y garantizando un vida útil larga para el micropavimento de la vía de tercer orden.

Los parámetros a seguir serán los siguientes:

7.1. DATOS GENERALES DE LA VÍA

Vía de tercer orden para un tráfico pequeño.

Longitud de la Vía = 1000m

Ancho de la Vía = 10m

Espesor a Estabilizar = 40cm

7.2. COSTOS DE LOS MATERIALES ESTABILIZANTES

Tabla VII: Cuadro de Precios Actualizados de los Materiales Estabilizantes

MATERIAL ESTABILIZANTE	UNIDAD	PRECIO (USD)
CAL	Kg	0.07
CEMENTO	Kg	0.14
EMULSIÓN ASFÁLTICA	Kg	0.38
ORGANO SILANOS	Kg	17.00

7.3. DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE CADA MATERIAL ESTABILIZANTE

Tabla VIII: Cuadro Dosificación de los Materiales Estabilizantes en el Suelo

MATERIAL ESTABILIZANTE	UNIDAD	VALOR ÓPTIMO
CAL	%	8
CEMENTO	%	4
EMULSIÓN ASFÁLTICA	%	3
ORGANO SILANOS	%	0.1

En la siguiente tabla se realizará el cálculo de los precios de cada uno de los materiales estabilizantes para 1Km de vía en base a un análisis de precios unitarios de estabilización con cada uno de los materiales estabilizantes:

Tabla IX: Cuadro Costos de Estabilización de los Materiales para 1Km de vía

MATERIAL ESTABILIZANTE	Porcentaje	Precio Unitario	VOLUMEN	Costo Total
	(%)	(USD)	(m3)	(USD/Km)
CAL	8	22.31	4000	89240
CEMENTO	4	22.31	4000	89240
EMULSIÓN ASFÁLTICA	3	32.05	4000	128200
ORGANO SILANOS	0.1	33.30	4000	133200

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, el realizar la obra con Organo Silanos, es demasiado costosa pero se obtiene la impermeabilidad en el suelo, factor el cual puede hacer que dure mucho más la estructura del micropavimento, pero en cambio con cal y cemento es menos costoso, pero la desventaja es que el suelo se mantiene permeable y puede tener menor vida útil que con Organo – silanos.

7.4. COSTO DEL PROYECTO CON MICROPAVIMENTO

Costo del metro cuadrado de Micropavimento = 2.50 dólares americanos

Si se tiene un kilómetro de vía en la cual existe un área de 10000 m².

Tabla X: Cuadro de Precios de Estabilización + Micropavimento Terminado

MATERIAL ESTABILIZANTE	Porcentaje	Precio Unitario	Area a de Vía	Costo Estabilizado	Costo Estabilizado y con Capa de Rodadura
	(%)	(USD)	(m ²)	(USD)	(USD/Km)
CAL	8	22.31	10000	89240	114240
CEMENTO	4	22.31	10000	89240	114240
EMULSIÓN ASFÁLTICA	3	32.05	10000	128200	153200
ORGANO SILANOS	0.1	33.30	10000	133200	158200

Como se pudo observar en la tabla anterior, en cada uno de los valores de estabilización de cada uno de los materiales estabilizantes, aumentó 25000 dólares, valor perteneciente a la construcción del micropavimento, de todo el tramo analizado (1Km).

8. CONCLUSIONES

- Las mejores opciones de estabilización fueron con Cal y Cemento, por su capacidad portante y por lo económico, pero para obtener una excelente estabilización, con muchas ventajas, se podría realizar una estabilización mixta, podría ser órgano-silanos con cemento, u órgano-silanos con cal, de ésta manera se tendría porcentajes más bajos, sea de cemento o cal, y también se reduciría el porcentaje de dosificación de los órgano-silanos. Llegando al punto de abaratar costos, obteniendo resultados de estabilización muy buenos, (CBR alto y un suelo totalmente impermeable).
- El tiempo de rotura de las mezclas en laboratorio es de 30 minutos y se obtiene cohesión necesaria para la apertura al tráfico en cada una de las mezclas a partir de los 80 minutos de fabricada. En campo se deberá verificar de acuerdo a las condiciones ambientales y meteorológicas, considerando que este diseño se realizó en las instalaciones de Calacalí, que se encuentra a 3000 msnm y temperaturas entre 18 y 20°C.

9. RECOMENDACIONES

- Para realizar el muestreo en campo, siempre hay que tomar en cuenta la metodología que se encuentra en las normas, ya que existen factores muy importantes como son la humedad natural del suelo, en el caso de una estabilización.
- Nunca dejarse engañar de un valor alto en la parte de estabilización ya que para estos casos, siempre se debe tener la vida útil que ofrece cada material estabilizante.
- El presente diseño ha sido realizado con agregados adquiridos directamente en la mina, realizando un muestreo y transporte del mismo acorde con los procedimientos normados para este tipo de trabajos.
- Los resultados y fórmula de trabajo presentados en esta investigación, han sido obtenidos en condiciones controladas de laboratorio, debiendo ratificarse o rectificarse los resultados a obtenerse en condiciones reales de trabajo cuando se lo realiza en campo.
- Durante el proceso constructivo se deberán realizar por cada entrega de material, muestreos y ensayos de los materiales utilizados para ratificar que se cumplan los requerimientos de calidad dados en las especificaciones.
- Es necesario que la Humedad de los agregados, granulometría, plasticidad y valores de equivalente de arena sean controlados al menos al inicio de cada jornada y por cada entrega de material, llevando un registro estadístico, detallado los resultados para mantener un historial, que permita tomar decisiones, en caso de requerirse alguna modificación tanto a la estabilización como al diseño del micropavimento.
- En caso de existir variaciones en las características del material se deberá rediseñar la mezcla de micropavimento.

- Los agregados deberán estar protegidos de la Humedad, agregados con exceso de Humedad afectan el comportamiento de la mezcla.
- El agua a ser utilizada en el diseño, deberá estar pura y limpia de cualquier tipo de contaminación orgánica o química, de lo contrario se podría utilizar un filtro de grava, el cual purificará al menos en un 80% el agua.
- No se deben realizar trabajos en caso de Humedad excesiva o posibilidad de lluvias. La Humedad ambiental afecta notablemente las características del suelo como de la mezcla asfáltica, por lo que, para la aplicación de ésta metodología en campo, se deberá llevar un registro detallado de la variación de las condiciones ambientales que permitan mantener un historial en caso de requerirse alguna modificación al diseño tanto del micropavimento como de la estabilización del suelo en estudio.

10. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle primero a mi Dios, ya que él ha sido mi fortaleza para seguir adelante en todos estos años de estudio universitario, porque siempre ha estado dándome su bendición.

A mis padres Dora Elizalde Rivera y César Giovanni Vinueza Barrera que los amo, primero quiero agradecerles por haberme dado la vida y darme la oportunidad de estar aquí, ya que ellos han hecho un esfuerzo muy grande para darme el estudio, aunque por cuestiones de trabajo no hemos podido estar juntos, pero siempre se han dado modos para estar pendientes de nosotros, sobre todo han estado en las buenas y en las malas apoyándome incondicionalmente en toda mi vida, y gracias a Dios me han sabido guiar por un buen camino.

A mis hermanos Henry Alexander Vinueza Elizalde y Leonardo Paul Vinueza Elizalde que hemos compartido momentos únicos de hermanos y me han sabido ayudar y apoyar a lo largo de mi vida, gracias por ser esos compañeros y amigos con los que siempre he contado.

Al amor de mi vida María José Patiño que la amo y la respeto, siempre ha estado apoyándome en todo, se ha convertido en mi compañera sentimental con la que hemos compartido muchas cosas hermosas y una de ellas es la universidad.

A mi Director y Coodirector de tesis Franco Rojas y Patricio Romero, por ayudarme a que ésta tesis sea un éxito, por sus enseñanzas a lo largo de mi carrera universitaria, y por sus consejos que me supieron brindar cuando lo necesité.

De una manera muy especial agradezco a todos mis profesores especialmente a los Ingenieros: Roberto Aguiar, Ricardo Durán, Jorge Zuñiga, Martha Pazmiño, Estuardo Peñaherrera, Washington Sandoval y Blanquita Chávez que han sido mi fuente de aprendizaje, mis amigos, que a través de su exigencia, he aprendido la parte profesional y de lo importante que significa ser un buen Ingeniero Civil y especialmente una excelente persona.

11. BIBLIOGRAFÍA

ASEFMA. (s.f.). *Construpedia*. Obtenido de http://www.construmatica.com/construpedia/Tipos_de_Asfalto

Butterworth, E. (1981). *Silicon in Organic Synthesis Colvin*.

Das, B. M. (1999). *Principles of Foundation Engineering*. California: Thomson Learning.

ISSA, A. (2010). *Norma para la construcción de Micropavimentos*.

toxement. (2003). http://www.toxement.com.co/pdfs/Emulsion_Asfaltica.pdf.

Wong, M. (1995). http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_civil/asfalto/.