



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-UMP-055-R1

GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE AGENTES ESTABILIZADORES PARA SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Preparado por:

Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica
Enero, 2017




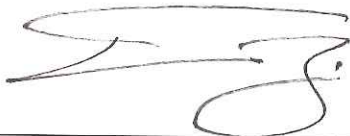
1. Informe LM-PI-UMP-055-R1		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE AGENTES ESTABILIZADORES PARA SUELOS Y MATERIALES GRANULARES		4. Fecha del Informe Enero, 2017
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <p><i>En Costa Rica, la variación de suelos entre distintas ubicaciones a lo largo del país es alta. Esto se debe a que la composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo que ha estado sometido a la meteorización, por la topografía, y otros factores.</i></p> <p><i>El conocimiento del tipo del suelo junto con la identificación de los problemas y deficiencias asociadas al mismo, es de gran importancia ya que de esta manera se podrá identificar algún aditivo que logre estabilizar los mismos y permitan el cumplimiento de especificaciones para el uso como materiales en el diseño de carreteras.</i></p>		
10. Palabras clave Suelos, Materiales Granulares, Estabilización	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 12
13. Preparado por: Ing. Tania Ávila Esquivel Investigadora Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 01 / 03 / 17	Ing. Andrea Ulloa Calderón Investigadora Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 01 / 03 / 17	
14. Revisado por: Ing. José Pablo Aguiar Moya, PhD Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos  Fecha: 01 / 03 / 17	15. Aprobado por: Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD Coordinador General del PITRA  Fecha: / /	



TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1	OBJETIVO GENERAL	5
1.2	ALCANCE.....	5
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	6
2	MARCO TEÓRICO	6
2.1	ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y MATERIALES PARA BASE	6
2.2	MODIFICACIÓN Y ESTABILIZACIÓN	7
2.3	MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN	7
2.4	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	7
2.5	ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA	8
3	GUÍA PARA LA SELECCIÓN DEL ADITIVO ADECUADO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES	9
3.1	SELECCIÓN DEL ADITIVO ESTABILIZADOR	9
3.2	PASOS POSTERIORES.....	11
4	REFERENCIAS	11



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. GUÍA PARA LA ESCOGENCIA DEL AGENTE ESTABILIZADOR. (5) 10

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. GRUPOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO (3) 8
TABLA 2. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN SEGÚN LA METODOLOGÍA AASHTO (3)..... 8



1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, a nivel mundial se utilizan una gran variedad de agentes estabilizadores, tales como:

- Agentes tenso-activos, como surfactantes y aceites sulfatados.
- Sales higroscópicas, como cloruro de calcio.
- Polímeros naturales y sintéticos.
- Ceras modificadas.
- Resinas de petróleo.
- Asfalto.
- Agentes cementantes, como cemento, cal y cenizas volantes, entre otros.

El objetivo de todos estos agentes estabilizadores es ligar las partículas individuales del agregado para aumentar la resistencia, durabilidad y/o hacer menos susceptible al daño por humedad al material. Algunos agentes son más efectivos que otros en ciertos materiales, otros tienen claras ventajas de costo, pero todos poseen una posición en el mercado, y la mayoría pueden ser aplicados de mejor manera con máquinas reciclado modernas.

Para la escogencia entre un estabilizador u otro se rigen en orden de importancia, los siguientes factores:

1. **Características del material a estabilizar:** Algunos agentes estabilizadores son más efectivos que otros para ciertos tipos de material. Por ejemplo, la cal se debe utilizar preferiblemente con respecto al cemento en materiales granulares con altos índices de plasticidad ($IP > 10$).
2. **Disponibilidad:** En ocasiones no todos los agentes están disponibles en el mercado ó algunos no cumplen los requerimientos para ser utilizados en proyectos viales.
3. **Durabilidad:** Los efectos deseables de estabilización deben permanecer de manera efectiva durante el periodo de servicio.
4. **Precio:** Debe ser económicamente factible de acuerdo a los recursos disponibles.
5. **Políticas:** Algunas políticas gubernamentales no permiten el uso de ciertos agentes estabilizadores.

Costa Rica es un país con gran variedad de climas, litologías y condiciones topográficas, lo que genera que en un territorio relativamente pequeño se encuentre una gran variedad de suelos, algunos de ellos con condiciones geotécnicas que dificultan la construcción de cualquier tipo de infraestructura. Es por esta razón que esta guía establece los criterios necesarios para mejorar las propiedades mecánicas de estos materiales utilizados comúnmente como capas de una estructura de pavimento, a través de la aplicación del aditivo adecuado.

1.1 Objetivo general

Proporcionar una guía que permita la selección adecuada de un agente estabilizador para materiales granulares y suelos que garantice su correcto desempeño.

1.2 Alcance

El procedimiento mostrado a continuación es una guía inicial para la selección de aditivos, pero la selección final debe basarse en un análisis más específico de los suelos. Por ejemplo, la identificación



de la reactividad de las puzolanas en la arcilla con los estabilizadores seleccionados, con el fin de valorar si existe o no una ganancia en la resistencia.

1.3 Justificación

El desempeño a largo plazo de las estructuras de pavimento depende frecuentemente de la estabilidad de las capas de suelo subyacentes. El diseño de pavimentos asume que cada capa tiene una calidad estructural específica mínima para soportar y distribuir las cargas impuestas. Estas capas deben resistir excesiva deformación permanente, esfuerzo cortante y evitar que en las capas superiores se presente un posterior agrietamiento por fatiga, debido a altas deflexiones. Los materiales de calidad disponibles para cumplir estos requerimientos no están siempre disponibles, por lo que en ocasiones es necesario mejorar algunas de sus propiedades físicas y mecánicas, a través de agentes estabilizadores para lograrlo. Los altos costos y la complejidad de transportar material adecuado hasta cada proyecto han promovido el desarrollo de técnicas de estabilización para poder utilizar los recursos localmente disponibles. Muchas veces, las resistencias y otras propiedades requeridas pueden obtenerse de un material local “marginal”, a través de la adición de pequeñas cantidades de agentes estabilizadores a un costo relativamente bajo.

En la actualidad en Costa Rica se ha implementado la estabilización de materiales granulares con cemento principalmente, sin embargo, existen otros tipos de agentes estabilizadores que se pueden utilizar, que dependiendo del material podrían tener un mejor desempeño. Una de las causas de este uso tan limitado es la falta de una guía para seleccionar el agente estabilizador más adecuado, según las características propias del material sin estabilizar.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Estabilización de suelos y materiales para base

Los materiales no estabilizados en pavimentos flexibles exhiben un comportamiento del tipo esfuerzo-dependiente. Esto significa que cuando se confinan en una capa de pavimento, la rigidez efectiva aumenta o disminuye con el incremento del estado de carga. Cuando los materiales son repetidamente cargados a niveles de esfuerzos que superan su resistencia última, se presentan deformaciones de corte, que se traducen en ahuellamiento. Al añadir un agente estabilizador, se ligan las partículas del material, cambiando el comportamiento bajo carga a tal nivel que una capa de material estabilizado se comporta de forma similar a una losa con distintos patrones de esfuerzos (1)

El diseño de los pavimentos se basa en que la mínima calidad estructural especificada se alcanzará para cada capa de material en el sistema de pavimento. Cada estrato debe resistir corte, evitar deflexiones excesivas que causan agrietamiento por fatiga dentro de ella misma o en capas superpuestas, y evitar la deformación permanente excesiva a través de la densificación. A medida que aumenta la calidad de una capa de suelo, la capacidad de ésta para distribuir la carga sobre un área mayor aumenta, lo cual permite reducir los espesores requeridos. (2)

- *Mejora cualitativa.* Las mejoras más comunes logradas a través de la estabilización incluyen una mejor gradación del material, la reducción del índice de plasticidad o potencial hinchamiento y aumento de la durabilidad y resistencia. En el clima húmedo, la estabilización también puede ser usada para proporcionar una plataforma de trabajo para las operaciones de construcción.



- *Reducción de espesor.* La resistencia y rigidez de una capa de material de suelo se pueden mejorar mediante el uso de aditivos, permitiendo una reducción en el espesor de diseño del material estabilizado en comparación con el material no estabilizado.
- *La estabilización de suelos y materiales granulares* a través del uso de aditivos aumenta su estabilidad y mejorara sus propiedades mecánicas. La estabilización química implica la alteración de las propiedades del material a nivel molecular en la superficie de las partículas, que en ciertos casos, ligan los granos, resultando en un aumento de la resistencia.

Los agentes estabilizadores cementantes, aportan rigidez mientras que los agentes asfálticos tienden a producir un material relativamente flexible. El material cementado es propenso a la retracción, que se manifiesta en un agrietamiento en bloque de la capa cuando se somete a cargas repetidas. Mientras que los materiales ligados con asfalto tienden a ser más blandos, con mejores propiedades elásticas, (1)

2.2 Mejoramiento y estabilización

La definición de mejoramiento y estabilización de un material con un agente estabilizador puede ser muy ambigua. El mejoramiento se presenta cuando las características se modifican durante o seguidamente después del mezclado, tal como la reducción de la plasticidad (incremento en la consistencia) y un aumento de la resistencia en general en menos de 7 días. Mientras que la estabilización ocurre en un proceso más prolongado, debido a un periodo significativo de reacción entre el material y los agentes estabilizadores. Sin embargo, la estabilización implica un aumento en la resistencia de al menos 350 kPa (50 psi) en comparación con el material sin estabilizar, bajo las mismas condiciones de compactación y curado.

2.3 Mecanismos de estabilización

Los mecanismos de estabilización puede ser muy compleja, que va desde la formación de nuevos componentes que ligan las partículas finas del suelo hasta el recubrimiento de la superficie de las partículas a través de aditivos disminuir la susceptibilidad a la humedad.

La estabilización química involucra el mezclado o la inyección en el suelo de compuestos químicamente activos, tales como cemento Portland, cal, cenizas volantes, cloruro de sodio, cloruro de calcio o materiales viscoelásticos como el asfalto. Los estabilizadores químicos pueden ser clasificados en tres grupos: tradicionales, no tradicionales y los subproductos. Los tradicionales pueden ser cal hidratada, cemento Portland y cenizas volantes; los no tradicionales como los compuestos de aceites sulfatados, cloruro de amonio, enzimas, polímeros, compuestos de potasio y los subproductos como las escorias de alto horno de cal o cemento, etc.

2.4 Sistema de clasificación de suelos

La metodología de "Clasificación de Suelos y Mezclas de Suelos-agregados para Propósitos de Construcción de Carreteras" AASHTO M 145 (3), inicialmente fue desarrollada en 1929 como el Public Road Administration Classification System, actualmente es el método más utilizado para materiales de caminos. Dicha clasificación se basa en las características granulométricas de los materiales (AASHTO T 27 y T 11) (4) y los límites de consistencia (AASHTO T 89 y T 90) (4) .



Según esta metodología, el suelo se puede clasificar en siete grupos mayores:

Tabla 1. Grupos que conforman el sistema de clasificación AASHTO (3)

GRUPO	TIPO DE MATERIAL	RESTRICCIÓN
A-1 Gravas y arneas A-2 gravas limosas o arcillosas /arenas limosas o arcillosas A-3 arenas finas	Materiales granulares	35% o menos de las partículas pasan por la malla N° 200
A-4 suelos limosos A-5 suelos limosos A-6 suelos arcillosos A-7 suelos arcillosos	Materiales finos (limos y arcillas)	Más del 35% pasan por la malla N° 200

A continuación se muestran los criterios de clasificación según esta metodología:

Tabla 2. Criterios de clasificación según la metodología AASHTO (3)

Tamaño del grano	<i>Grava</i>	Fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla N° 10 (2mm)
	<i>Arena</i>	Fracción que pasa la malla N° 10 y es retenida en la malla N° 200
	<i>Limo y arcilla</i>	Fracción que pasa la malla N° 200
Plasticidad	<i>Uso del término limoso</i>	Fracciones de finos de suelo tienen índice de plasticidad de 10 o menor
	<i>Uso del término arcilloso</i>	Fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor
Tamaños mayores a 75 mm	Cuando hay presencia de tamaños mayores a 75 mm, se deben excluir de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando. Si se debe registrar este material.	



3 GUÍA PARA LA SELECCIÓN DEL ADITIVO ADECUADO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y MATERIALES GRANULARES

Existen variedad de opciones para seleccionar un agente estabilizador, la mayoría se basan en la clasificación del material según AASHTO. Una metodología simple, pero bien aceptada para la selección de un agente estabilizador apropiado es " Sistema de Referencia para la Estabilización del Suelo (SSIS) ; el cual se basa en la determinación de dos propiedades: índice de plasticidad y el porcentaje pasando la malla No. 200. Ambas son fáciles de llevar a cabo en el laboratorio y permiten correlacionar parámetros ingenieriles del suelo.

3.1 Selección del agente estabilizador

A continuación se describe paso a paso el procedimiento para la selección adecuada del agente.

Paso #1

Realizar el ensayo de Granulometría (AASHTO T 27 y T 11), para identificar el porcentaje de material que pasa la malla N° 200 (75 μ m).

Paso #2

Realizar el ensayo de Límite Líquido y Límite Plástico los límites de consistencia (AASHTO T 89 y T 90), y calcular el Índice de Plasticidad.

Paso #3

Con los valores obtenidos en el *Paso #1* ingresar a la Figura 1, donde se muestra un esquema para escoger el agente estabilizador más adecuado de acuerdo a las propiedades determinadas en el paso anterior. Los agentes propuestos se encuentran numerados de acuerdo al costo económico y a la eficiencia que puedan proveer al utilizarse como estabilizadores, según el porcentaje de finos e índice de plasticidad. Sin embargo, es necesario comprobar a través de los diseños requerido según se establece para cada agente, estudios adicionales de los contenidos de arcillas u otros minerales que pudieran afectar o desfavorecer el uso del tipo de agente seleccionado.

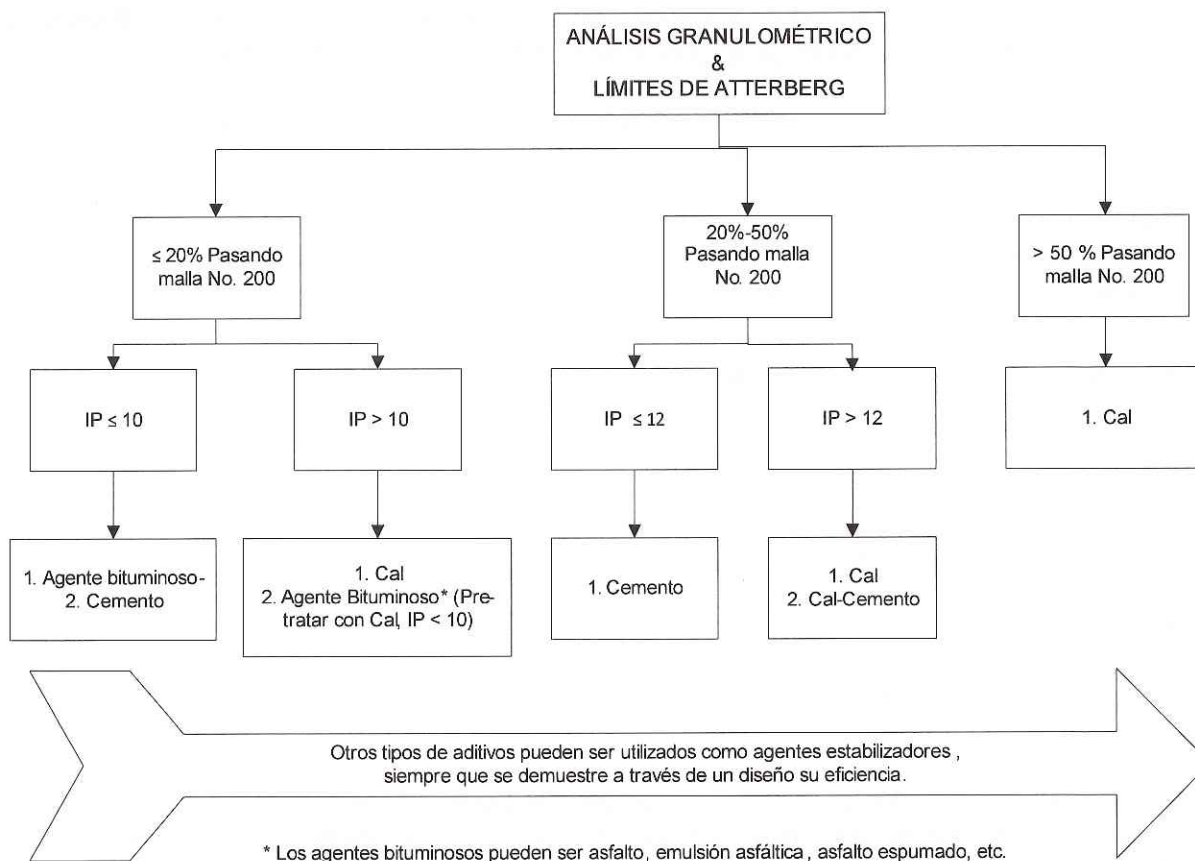


Figura 1. Guía para la escogencia del agente estabilizador. (5)

Paso #4 (5)

Una vez seleccionado el agente, será necesario considerar el posible impacto de los componentes deletéreos que el suelo pueda poseer. Contenidos de materia orgánica mayores al 1-2% se consideran potencialmente deletéreos al igual que un alto contenido de sales.

- (a) Para detectar la cantidad de materia orgánica presente en el suelo se deberá realizar el ensayo "Método de prueba para obtener el contenido de humedad, cenizas y materia orgánica de la turba y otros suelos orgánicos" (ASTM D 2974).
- (b) Para determinar el contenido de sulfatos se deberá realizar el ensayo "Contenido de sulfato soluble en agua en el suelo" (AASHTO T 290). Valores de sulfatos solubles en agua mayores a 0,3% sugieren potencial para reaccionar de forma expansiva, lo que podría provocar un cambio de volumen en la capa estabilizada.

Si el contenido de materia deletérea es mayor al 2% se puede aplicar cal para buscar una neutralización de la reacción química, sin embargo no en todos los casos será posible obtener una estabilización (ganancia de resistencia, mejoramiento de las características mecánicas).



Paso #5

Si la porción fina (% que pasa la malla N°200) del material granular posee un valor de IP mayor a 12, se podrá mejorar la plasticidad con una adición de cal inicial para lograr cumplir con el requerimiento para estabilización con material bituminoso o cemento, si el material así lo permite.

3.2 Pasos posteriores

Una vez seleccionado el estabilizador, se deberá realizar pruebas de laboratorio para determinar la ganancia en la resistencia y las características de desempeño del material estabilizado con el fin de validar la escogencia del mismo y cumplir con lo establecido en el *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes* (CR-2010) (6), o en las guías propuestas por el Laboratorio de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), que se encuentren avalados por la Administración. Para realizar el diseño del material con el agente seleccionado se deberá seguir la guía de diseño adecuada, tal como el *Manual de estabilización de suelo tratado con cal* de la Asociación Americana de la Cal (2004) (7), la *Metodología de Diseño para Materiales Granulares Estabilizados con Emulsión Asfáltica* (2015) (8), entre otras.

4 REFERENCIAS

1. **Asphalt Institute.** *A Basic Asphalt Emulsion Manual (MS-19)*. Lexington : Asphalt Institute, 1998.
2. **Department of The Army, The Navy and The Air Force.** *Soil Stabilization for Pavements*. Washington DC. : s.n., 1994.
3. **American Association of State Highway and Transportation Officials .** *Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes (M 145)*. Washington, D.C. : AASHTO, 2016.
4. **American Association of State Highway and Transportation Officials.** *Standard Method of Test for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (T 27)*. 2014.
5. **Little, D. & Nair, S.** *Recommended Practice for Stabilization of Subgrade Soils and Base Materials*. Texas : National Cooperative Highway Research Program, 2009. 144.
6. **Castro, J. et al.** *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes de Costa Rica CR2010*. . San José : Ministerio de Obras Públicas y Transporte de Costa Rica, 2011.
7. **Asociación Americana de la Cal (NLA).** *Manual de estabilización de suelo tratado con cal, estabilización y modificación con cal*. . USA: NLA. : s.n., 2004.



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES : MODELOS EFECTOS GRANULARES

8. (UMP), Unidad de Materiales y Pavimentos. *Metodología de Diseño para Materiales Granulares Estabilizados con Emulsión Asfáltica.* . San José : Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR. Universidad de Costa Rica, 2015.