

Subrasantes

Estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas

Ing. Fabián Elizondo Arrieta
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
felizondo@lanamme.ucr.ac.cr
Investigadora Asociada:
Ing. Denia Sibaja Obando
Instituto Costarricense de Electricidad (ICE)
dsibaja@gmail.com

Fecha de recepción: 11 de diciembre del 2008

Fecha de aprobación: 26 de enero del 2009

Resumen

Costa Rica cuenta con una Red Vial Nacional en tierra y lastre que comprende cerca de 3000 km. Durante el 2008 el MOPT- CONAVI licitó un programa de Conservación de Rutas de Lastre y Tierra que contempla una inversión de ¢7.000 millones (\$12,5 millones). La optimización de estos recursos, así como la implementación de alternativas diferentes a las utilizadas actualmente (relastro y nivelación) que busquen mejorar la vida útil de este tipo de pavimentos, reducir los costos de mantenimiento y brindar mejores condiciones a los usuarios; traería muchas ventajas y es de gran importancia para el país. El cemento, la cal y el bitumen han sido utilizados ampliamente en otros países para la estabilización y mejoramiento de materiales con excelentes resultados, por este motivo el LanammeUCR mediante este proyecto de investigación formuló una "Guía para la estabilización de rutas no pavimentadas" con base en experiencias internacionales, la cual presenta un esquema para la elección del aditivo óptimo con base en el tipo de material a estabilizar, procedimientos de diseño y evaluación de propiedades y procesos constructivos. Por último, se plantea para futuras etapas llevar a cabo proyectos piloto en conjunto con el MOPT-CONAVI, para la validación y puesta en práctica de estas alternativas.

Palabras clave: Estabilización, cal, cemento, bitumen, emulsión.

Abstract

Costa Rica has a non-paved National Road Network that includes about 3000 km, during 2008 MOPT- CONAVI created a Program for Maintenance of non-paved roads that contemplates an investment of ¢7.000 million (\$12.5 million). The optimization of these resources as well as the implementation of different alternatives from the ones used nowadays (ballast and leveling) that allow to improve the life of this type of pavements, to reduce the maintenance costs and offering better conditions to the users; this would bring many advantages and it would be very important for the country. The cement, lime and bitumen have been used widely in other countries for the stabilization and improvement of materials with excellent results, for this reason the LanammeUCR, by means of this project, formulated a "Guide for the stabilization of non-paved routes" based on international experiences, which presents a procedure for the election of the optimal additive based on the type of material, procedures of design and evaluation of properties, and constructive processes. Finally, pilot projects could be carried out with the MOPT-CONAVI in future stages, to validate and put into practice these alternatives.

Keywords: Stabilization, lime, cement, bitumen, emulsion

1. Introducción

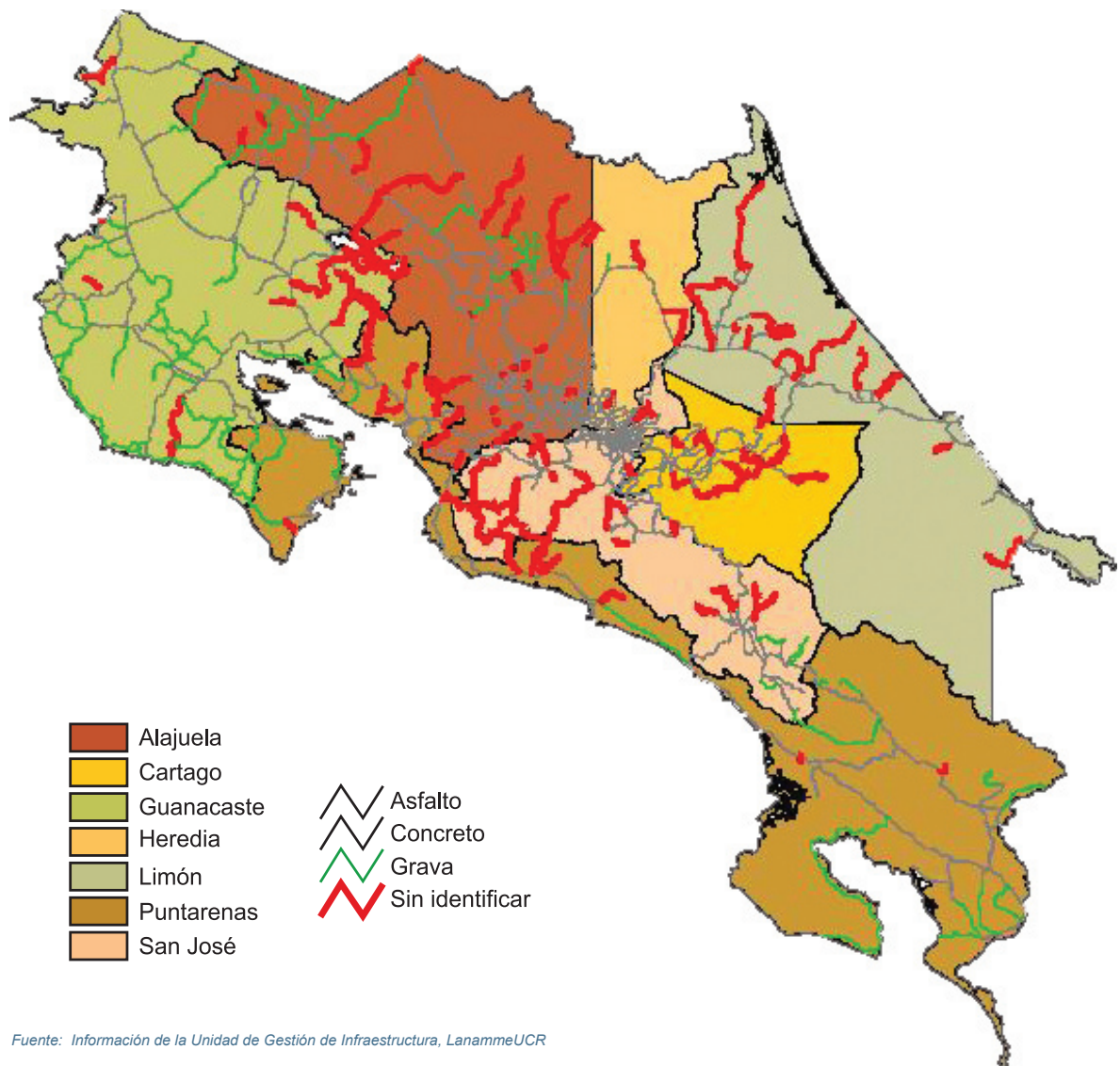
En Costa Rica se cuenta con un total de 2714 km de rutas no pavimentadas que forman parte de la red vial nacional. Durante el 2008 se licitaron 38 proyectos para la conservación de rutas no pavimentadas, que involucran un poco más de 2700 km de carreteras, por un monto que asciende a los ¢7.000 millones (\$12,5 millones) (ver Figura 1).

Este nivel de inversión genera la necesidad de contar con un mayor número de técnicas y opciones para el mantenimiento de estas rutas, que las utilizadas actualmente, las cuales se reducen básicamente a la nivelación y el relastro (reposición de grava) de la superficie de ruedo, alternativas que aunque son comparativamente baratas requieren de un mantenimiento intensivo que se ve incrementado por el clima tropical-lluvioso de nuestro país.

Algunas de las técnicas de estabilización y mejoramiento han sido utilizadas en otros países con gran éxito, logrando aumentar la vida útil y disminuyendo la frecuencia en el mantenimiento. Al analizarlo a mediano y largo plazo, resultan ser soluciones competitivas económicamente, ofreciendo mejores superficies de ruedo y que indiscutiblemente poseen un mejor desempeño ante condiciones de lluvia y humedad extrema como las presentes en Costa Rica, en donde la época lluviosa abarca más del 50% del año en muchas zonas.

Otra consideración importante es que este tipo de soluciones, no son exclusivas de carreteras de lastre o grava, también son utilizadas en el mejoramiento de sub-rasantes y sub-bases dentro de una estructura de pavimento para volúmenes medios y altos de tránsito, mejorando por mucho la capacidad estructural de estos materiales, impermeabilizando el resto de capas de la estructura y evitando la migración de

Figura 1 Distribución y ubicación de la Red Vial Nacional



Fuente: Información de la Unidad de Gestión de Infraestructura, LanammeUCR

finos o contaminación del paquete estructural con la consecuente desmejora en su desempeño.

1.1 Objetivo General

El LanammeUCR se dio a la tarea de desarrollar una guía práctica para la estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas en Costa Rica, basada en experiencias internacionales y tomando en cuenta la factibilidad de la aplicación de las diferentes técnicas en Costa Rica.

1.2 Marco teórico

La estabilización es el proceso de combinar o mezclar materiales con el suelo para mejorar sus propiedades. El proceso puede incluir la mezcla entre diversos tipos

de suelos para alcanzar una graduación deseada (estabilización mecánica) o la mezcla del suelo con aditivos (estabilización física y/o química), que puedan mejorar su graduación, textura o plasticidad. Igualmente el estabilizante puede actuar como ligante para la cementación del suelo. Específicamente, en este proyecto nos enfocamos en la modificación física y/o química mediante cal, cemento y bitumen.

El principal fin de la estabilización es aumentar la resistencia mecánica, haciendo que el suelo presente mayor trabazón entre partículas y asegurando que las condiciones de humedad del suelo varíen dentro de los rangos adecuados. Con esto se logran tres objetivos importantes: adecuada **estabilidad** ante las cargas, **durabilidad** de la capa y una **variación volumétrica** mínima.

Área	Clase de suelo	Tipo de estabilizador Aditivo recomendado	Restricción en LL e IP del suelo	Restricción en porcentaje pasando la malla No. 200	Comentarios
1A	SW ó SP	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-ceniza volante	IP no excede a 25		
1B	SW-SM ó SP-SM ó SW-SC ó SP-SC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal-cemento-ceniza volante	IP no excede a 10 IP no excede a 30 IP no excede a 12 IP no excede a 25		
1C	SM ó SC ó SM-SC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal-cemento-ceniza volante	IP no excede a 10 IP no menor de 12 IP no excede a 25	No excede 30% por peso	
2A	GW ó GP	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-ceniza volante	IP no excede a 25		Material bien graduado. Debe contener al menos 45% por peso del material pasando la malla No. 4
2B	GW-GM ó GP-GM ó GW-GC ó G-GC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal-cemento-ceniza volante	IP no excede a 10 IP no excede a 30 IP no menor de 12 IP no excede a 25		Material bien graduado. Debe contener al menos 45% por peso del material pasando la malla No. 4
2C	GM ó GC ó GM-GC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal-cemento-ceniza volante	IP no excede a 10 IP no excede a 12 IP no excede a 25	No excede 30% por peso	Material bien graduado solamente
3	CH ó CL ó MH ó ML ó OH ó OL ó ML-CL	(1) Portland (2) Cal	LL menor de 40 e IP menor de 10 IP no menor de 12		Materiales orgánicos y altamente ácidos que se encuentran dentro de esta área no son susceptibles a la estabilización por mecanismos ordinarios.

a. La clasificación del suelo corresponde a MIL-STD-619B. Restricción en el líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP) está de acuerdo con el Método 103 en MIL-STD-621A.

b. $IP \leq 20 + 50\text{-porcentaje pasando malla No. 200}$

Fuente: Department of The Army, The Navy, and The Air Force. Soil Stabilization for Pavements. Washington DC. United States. Octubre, 1994.

Dentro del marco de este estudio, es importante aclarar que existen dos tipos de modificaciones de materiales, el primero cuando se enfoca en mejorar características tales como graduación, trabajabilidad y plasticidad, para las cuales se requieren cantidades mínimas de aditivos (mejoramiento de materiales), por otra parte cuando el objetivo es mejorar propiedades como resistencia y durabilidad de manera significativa, se necesitan cantidades mayores de aditivos (estabilización de materiales).

2. Estabilización con aditivos

2.1 Selección del aditivo. Factores que se deben considerar

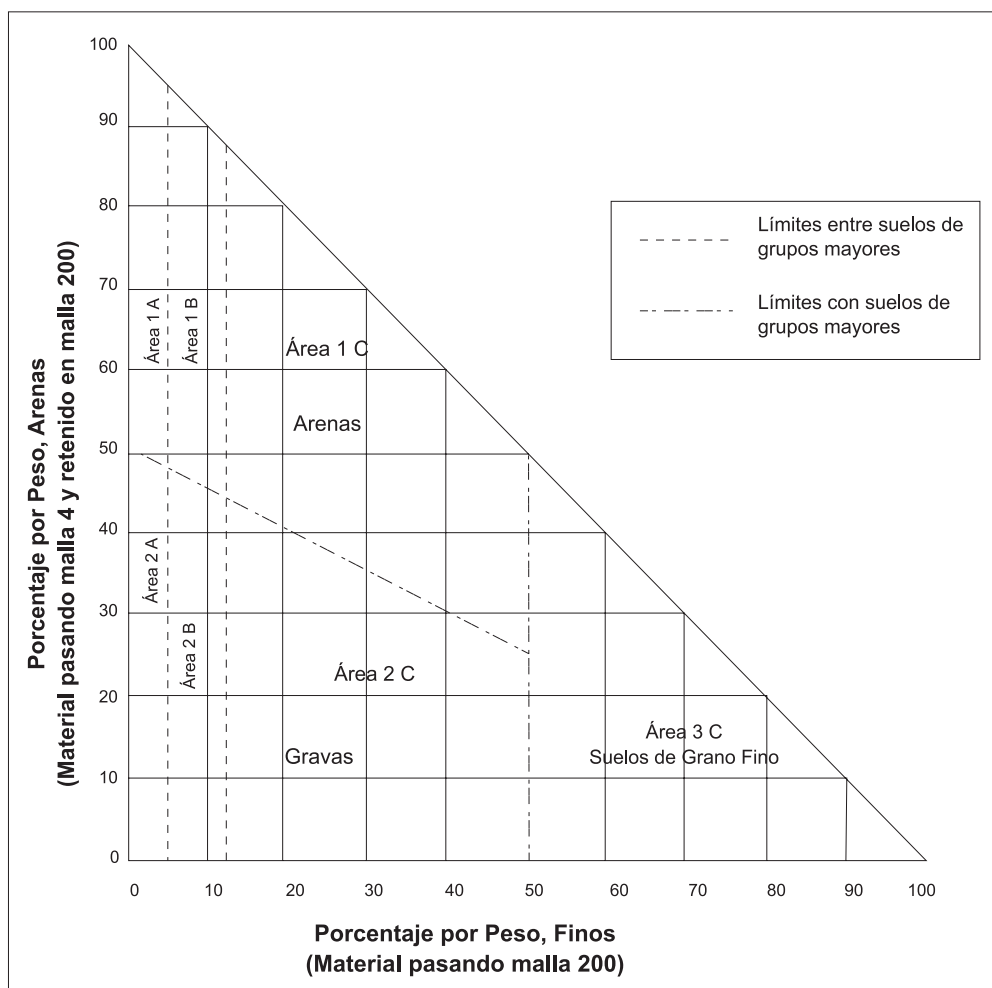
Los factores que deben de ser considerados en la selección de un estabilizador son, el tipo de suelo a estabilizar, el propósito para el cual la capa será utilizada,

el tipo de mejora que se desea del suelo (objetivo de la estabilización), la resistencia requerida y durabilidad de la capa estabilizada, las condiciones ambientales y el costo.

2.1.1 Tipo de suelo y aditivos

Pueden existir varios candidatos o aditivos para la estabilización de un tipo de suelo específico, sin embargo, existen algunas consideraciones generales que permiten seleccionar un estabilizador específico como el más apto, basado en la granulometría, plasticidad o textura del suelo.

Como consideraciones generales, el cemento Portland es utilizado en una gran variedad de tipos de suelos; sin embargo, dado que es sumamente importante que esté íntimamente mezclado con la fracción fina del suelo (<0.074 mm), los materiales mas plásticos



Fuente: Department of The Army, The Navy, and The Air Force. Soil Stabilization for Pavements. Washington DC. United States. Octubre, 1994

deben ser evitados. Generalmente aquellos materiales granulares bien graduados que posean suficientes finos que produzcan o permitan una matriz de agregado homogénea, son los más deseados para la estabilización con cemento Pórtland.

Por su parte, la cal reaccionará con los suelos de mediana y alta plasticidad produciendo un decremento en el índice de plasticidad, aumento de trabajabilidad, disminución de expansión y aumento de resistencia. La cal es utilizada para la estabilización de una gran variedad de materiales, incluyendo suelos de muy baja resistencia, transformándolos en una “superficie de trabajo” o sub base; además con cantidades marginales de materiales granulares de base como las gravas arcillas o gravas “sucias” pueden formar una base de alta resistencia y calidad. En la práctica es común la utilización de pequeñas cantidades de cemento Pórtland junto con la cal para aumentar resistencia.

El bitumen y materiales bituminosos son empleados para impermeabilizar y aumentar la resistencia, generalmente los suelos deseables para una estabilización con materiales bituminosos son las arenas y los materiales granulares, ya que se requiere que las partículas de suelo queden completamente cubiertas.

2.1.2 Procedimiento para la selección del aditivo óptimo

La selección de las opciones de aditivos para la modificación, se podría realizar mediante la Figura 2 y la Tabla 1. En la Figura 2 se define un triángulo basado en las características granulométricas del suelo, específicamente en el tamaño de las partículas y porcentajes retenidos en ciertas mallas (Nº4 y Nº200). Este triángulo es dividido en varias áreas de suelos con tamaños de partículas similares y características de pulverización.

El proceso de selección continúa con la Tabla 1, en la cual se especifican para cada área de suelos mostrados en la Figura 2, opciones de aditivos y restricciones, basados en el tamaño de partícula o el índice de plasticidad (IP).

2.1.3 Diseño del material estabilizado

En el caso de los suelos modificados con cemento o cal, el procedimiento de diseño o cálculo del contenido óptimo de aditivo, para cumplir con los requisitos solicitados es muy similar. Se podría especificar que, en el caso de las modificaciones con cal (suelos muy finos y plásticos) se logrará una disminución en la plasticidad y mejoría en la trabajabilidad durante el proceso constructivo.

Además, se debe tener presente el objetivo de la modificación. Si lo que se busca es estabilizar el material, es decir, cumplir con requisitos de durabilidad y resistencia, o el objetivo será el mejoramiento del material modificando sus propiedades granulométricas, de plasticidad o reduciendo su susceptibilidad a la expansión.

El procedimiento en laboratorio para el diseño del material cuando se busca la estabilización sigue el esquema planteado en la Figura 3. En el caso que el objetivo sea el de mejorar el material (por ejemplo: granulometría, plasticidad) el procedimiento es iterativo de prueba y error hasta lograr la mejoría deseada.

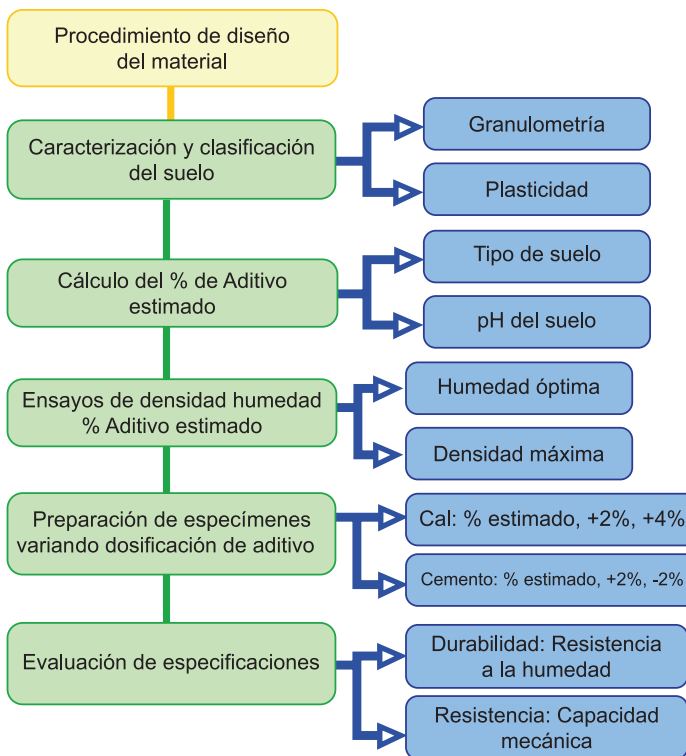
Para la estabilización con materiales asfálticos, el procedimiento difiere de los utilizados para cemento y cal, en este caso se busca una impermeabilización y adhesión (cohesión) del material, mejorando así la resistencia al corte por cohesión y reducción de resistencia por penetración de agua.

Los materiales comúnmente utilizados para ser estabilizados con materiales asfálticos, son las arenas y gravas, utilizando para la estabilización tres tipos de bitúmenes: asfaltos, asfaltos rebajados y emulsiones. Para los dos últimos se caracteriza el uso de asfaltos rebajados y emulsiones de curado y rompimiento medio y lento.

El procedimiento en laboratorio para el diseño de la estabilización con materiales asfálticos se basa en el procedimiento Marshall y sigue el esquema planteado en la Figura 4.

Procedimiento de diseño del material (cal y cemento)

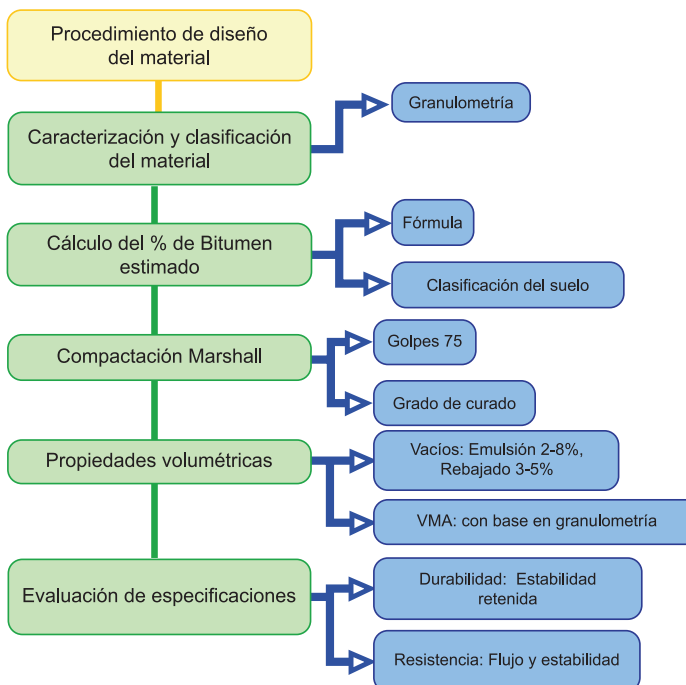
Figura 3



Fuente: El autor. 2008

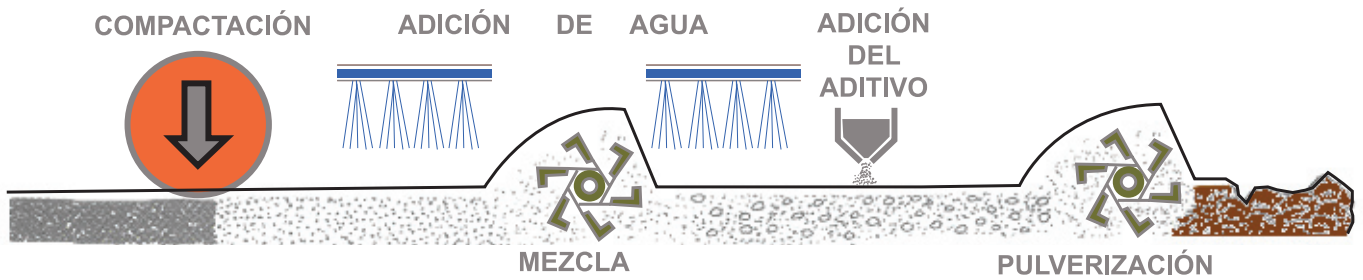
Procedimiento de diseño del material (materiales asfálticos)

Figura 4



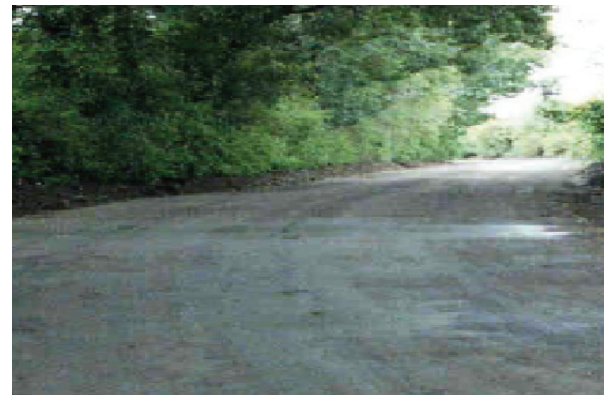
Fuente: El autor. 2008

Figura 5 Fases de la estabilización en sitio



Fuente: Ingeniería de carreteras vol II. Del val Melús, Miguel Angel; Kraemer Heilperno, Carlos; Pardillo, Jose Maria; Rocci, Sandro; Romana, Manuel G. & Sánchez Blanco, Víctor. Primera Edición, 2004

Figura 6 Etapas de la estabilización: caracterización del material, diseño y construcción



Fuente: Curso de actualización "Construcción y mantenimiento de carreteras" Ing. Freddy Reyes Lizcano, Ph.D. Marzo, 2006

Los procedimientos detallados, especificaciones, consideraciones especiales y cuidados, para los procedimientos de diseño, se incluyen dentro de la "Guía para la estabilización y mantenimiento de rutas no pavimentadas" (Ing. Fabián Elizondo Arrieta, Ing. Denia Sibaja, 2008, LanammeUCR).

2.1.4 Procedimientos de construcción

El procedimiento básico para la construcción de una modificación con cal o cemento es muy similar, puede realizarse en sitio o en planta. En el caso de la estabilización en sitio puede dividirse en dos etapas (Figura 5 y 6): la preparación y el procesamiento o construcción, cuyas fases se detallan a continuación:

1.Preparación inicial:

- a.Conformar la superficie, coronar y preparar pendientes transversales.
- b.De ser necesario; escarificar, pulverizar y prehumedecer el suelo.
- c.Reconformar la superficie.

2.Procesamiento:

- a.Dispersar el aditivo y mezclar.
- b.Aplicar agua y mezclar.
- c.Compactar.
- d.Afinar.
- e.Curar.

El proceso constructivo incluye una serie de variables que dependen del aditivo, del material e inclusive del equipo que se utilice para la construcción, entre otros. En la guía se presentan indicaciones específicas para cada caso.

En los casos en los que la estabilización se realice con bitumen, el procedimiento de construcción consta de etapas similares a las de la cal y el cemento, con algunas diferencias. Una de ellas es el proceso de aireación que se requiere antes de la compactación. A la mayoría de los diluyentes que hacen trabajable la mezcla con bitumen en frío se les debe permitir la evaporación. En la mayoría de los casos, esto ocurre durante el mezclado y la colocación, por lo que en estos casos es requerida muy poca aireación, pero alguna ayuda extra es requerida ocasionalmente para acelerar el proceso y disipar el exceso de diluentes, esto permitirá que la mezcla esté lo suficientemente aireada, pues de lo contrario los compactadores tendrían dificultad de desplazarse y se requerirán excesivas energías de empuje para la compactación.

Existen además una serie de detalles a tener en cuenta dentro del proceso de construcción con los diferentes aditivos, que podrían provocar problemas en la construcción o desempeño y comportamiento de la estabilización, estos son tratados en la “Guía para la estabilización y mantenimiento de rutas no pavimentadas” desarrollada por el LanammeUCR.

3. Próximas etapas

El objetivo de las próximas etapas consiste en la validación para las condiciones de Costa Rica de los métodos y procedimientos establecidos en la “*Guía para la estabilización y mantenimiento de rutas no pavimentadas*”, dado que este documento se basa en

experiencias de otros países, donde las condiciones y características de los proyectos podrían variar.

Para lo anterior se han realizado negociaciones con el Ministerio de Obras Públicas y Transportes los cuales están interesados en trabajar en proyectos piloto, dentro de los *Programas de Conservación de Rutas de Lastre y Tierra*, a cargo del Consejo Nacional de Vialidad, los cuales iniciarían con etapas de diseño y valoración en laboratorio, para luego ser llevadas a tramos de prueba.

Bibliografía

1. Department of The Army, The Navy, and the Air Force. Soil Stabilization for pavements. Washington D.C, United States, 1994.
2. National Lime Association. Manual de estabilización de suelos tratados con cal, 2004.
3. Federal Highway Administration, Soil and Base Stabilization and Associated Drainage Consideration. Washington D.C, United States, 1993.
4. Guía para la estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas, Ing. Fabián Elizondo Arrieta, Ing. Denia Sibaja, LanammeUCR, 2008.