



Mejoramiento y estabilización de subrasantes con cal

Ing. Gustavo Badilla Vargas
Ing. Fabián Elizondo Arrieta

Unidad de Investigación
en Infraestructura Vial, PITRA

Por las características geológicas de Costa Rica, los suelos de subrasante presentes en gran parte de nuestro país, son suelos con altos índices de plasticidad. Las características de alta plasticidad están relacionadas con baja capacidad mecánica, gran susceptibilidad a la humedad y el consecuente efecto en la consistencia o deformación plástica ante las cargas.

Estas subrasantes son utilizadas en pavimentos como cimientado para su estructura o en rutas no pavimentadas (tierra y lastre) como superficie que estarán en contacto directo con las cargas del tránsito ya sea en estado natural o mezcladas con materiales granulares en los casos de caminos de lastre.

La estabilización de suelos con cal ha sido utilizada en otros países con gran éxito, logrando aumentar la vida útil de este tipo de rutas, disminuyendo la frecuencia en el mantenimiento que, al analizar 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 CR, en donde la época lluviosa abarca más del 50% del año en muchas zonas.

Factores que deben ser considerados

Los factores que deben de ser considerados en la selección de la cal como estabilizador adecuado para un suelo 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.

Entre las consideraciones generales que permiten seleccionar a la cal como el estabilizador más apto para estabilizar un suelo se mencionan: la granulometría y la plasticidad del suelo. Como regla general 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.

Una metodología general utilizada por el Ejército de los Estados Unidos para la selección de aditivos para la estabilización de un suelo, requiere la información granulométrica y los límites de Atterberg del suelo. Con esta metodología se busca en la figura 1, la intersección del porcentaje de material pasando la malla N°200 y el porcentaje de material pasando la malla N°4 pero retenido en la malla N°200, en el punto de intersección se define un área: 1A, 2A, 3A, 1B, etc. Una vez determinada esta

Comité editorial del boletín



2010

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar
Coordinador General PITRA, LanammeUCR

Sra. Ana María Arroyo Acosta
Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica, PITRA

Mauricio Bolaños Barrantes
Diseñador Gráfico

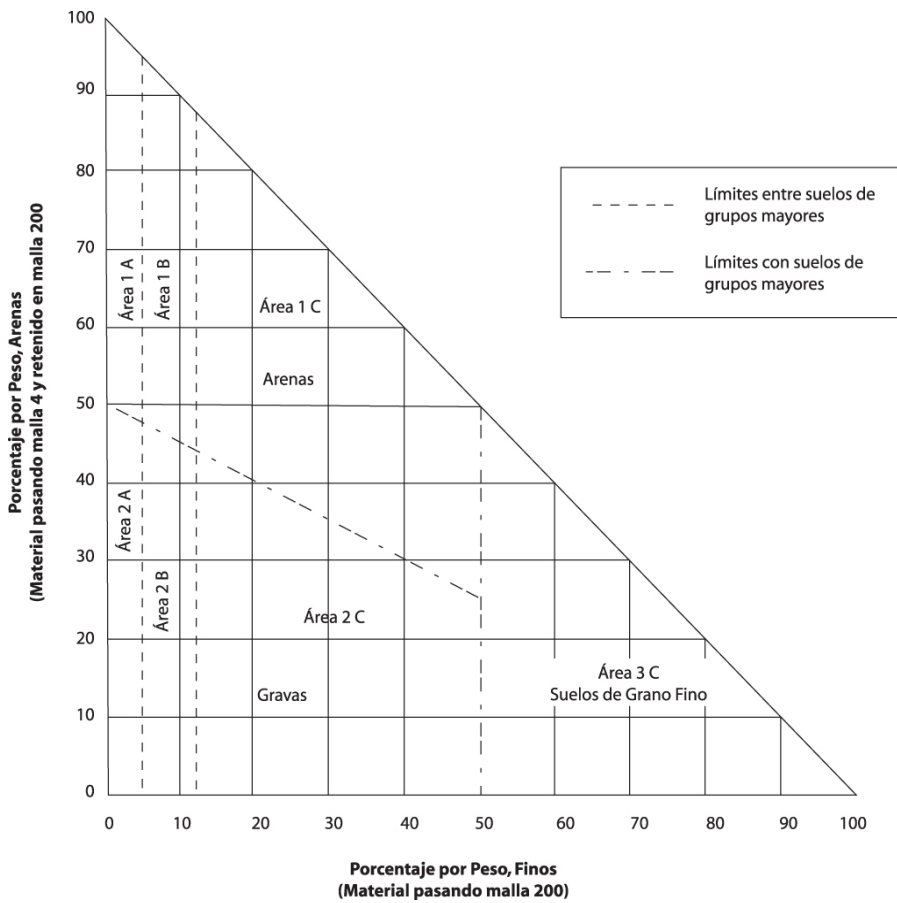


Figura 1

Selección de los aditivos.

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

área se emplea la tabla 1 para determinar cuál es el tipo de aditivo más adecuado para estabilizar ese tipo de suelo. A su vez, esta misma tabla indica las restricciones para la selección del aditivo y una lista con los tipos de suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) que clasificaría dentro de cada área, con la finalidad de comprobar una adecuada selección del área.

podría ser utilizada con confianza para diversos tipos de suelo y climas. El procedimiento descrito a continuación fue generado para la estabilización de suelos, el cual intenta asegurar la resistencia a largo plazo y durabilidad de un suelo estabilizado con cal, más allá de lo que se ha denominado "mejorarlo", entendiéndose la mejora como la reducción de plasticidad o humedad sin cumplir ningún valor mínimo de resistencia.

Paso 1: Evaluar las propiedades claves del suelo como paso inicial para determinar si el suelo es adecuado para a ser estabilizado con cal.

Paso 2: Determinación de la demanda estimada inicial de cal, el porcentaje más bajo de cal en el cual el suelo alcanza un pH en laboratorio de 12,4 define el porcentaje mínimo de cal para estabilizar un suelo.

Con cantidades adecuadas de cal y agua el pH del suelo aumenta, esto rompe las partículas de arcilla, las cuales reaccionarán con el calcio de la cal para formar productos cementantes similares a los formados en el cemento Pórtland, el suelo se transforma de arenoso granular a una capa dura relativamente impermeable, con una capacidad de carga que es tan fuerte como flexible.

Paso 3: Determinación del contenido de humedad óptimo y la máxima densidad seca del suelo tratado con cal, mediante el procedimiento ASTM D698 (Próctor Estándar).

La metodología de diseño de la "National Lime Association" (NLA)

La National Lime Association evaluó varios procedimientos para el diseño de mezclas estabilizadas con cal con la finalidad de generar una metodología definitiva que

Área	Clase de Suelo	Tipo de estabilizador Aditivo recomendado	Restricción de 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 exceda 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 exceda a 10 IP no exceda a 30 IP no exceda a 12 IP no exceda a 25		
1C	SM ó SC ó SM-SC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal-cemento-ceniza volante	IP no exceda a 10 IP no menor de 12 IP no exceda a 25	No exceda 30% por peso	
2A	GW ó GP	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal-cemento-ceniza volante	IP no exceda 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 GP-GC	(1) Bituminosos (2) Cemento Portland (3) Cal (4) Cal-cemento-ceniza volante	IP no exceda a 10 IP no exceda a 30 IP no menor de 12 IP no exceda 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 exceda a 10 IP no menor de 12 IP no exceda a 25	No exceda 30% por peso	Material bien graduado solamente
3C	CH ó CL ó MH ó ML ó OH ó OL ó ML-CL	(1) Cemento 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.

Tabla 1

Matriz para la selección del aditivo estabilizador.

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

^b IP ≤

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



Paso 4: Fabricación de los especímenes para compresión inconfínada (CI) mediante el procedimiento ASTM D5102 procedimiento B. La muestra debe de ser almacenada en una bolsa sellada e impermeable por 1 - 24 horas antes de fabricar el espécimen de ensayo.

Paso 5: Curado y confinamiento de los especímenes de compresión inconfínada (CI). Inmediatamente después de la fabricación de los especímenes, deben de ser envueltos en plástico y sellados en una bolsa impermeable. Cure los especímenes

por 7 días a 40 °C. Cumplido este tiempo, los especímenes son envueltos en una tela absorbente y posteriormente sometidos a un remojo por capilaridad por un periodo de 24 horas antes de la falla a la compresión inconfínada.

Paso 6: Determinación de la Compresión Inconfínada (CI) de los especímenes curados y condicionados en humedad. Utilice el procedimiento ASTM D5102 B para determinar la CI de los especímenes curados y condicionados. La CI es el promedio de al menos dos especímenes. Valores sugeridos que deben cumplirse para CI se presentan en la tabla 2.

En el LanammeUCR con la finalidad de evaluar la aplicabilidad y la efectividad de la estabilización con cal se estudiaron 3 muestras de suelo obtenidas de diferentes puntos o secciones del proyecto en construcción Sifón - La Abundancia (Elizondo y Badilla, 2010). Los resultados de granulometría y límites de Atterberg, ver figura 2, determinaron que estos materiales, clasificaban como materiales limosos de alta plasticidad (MH) según el sistema SUCS, y al evaluar sus propiedades conforme a la figura 1 y tabla 1 se determinó que estos materiales eran aptos para ser estabilizados con cal. Este tipo de materiales MH, presentan propiedades elásticas elevadas que pueden ser perjudiciales, además presentan una baja permeabilidad. En época lluviosa presentan cambios volumétricos perjudiciales. Si el material es utilizado naturalmente, su uso como capa superficial puede ir de malo a pésimo y en el caso de una base o subbase será regular a pésimo. En el caso de

terraplenes su uso puede ir de malo a pésimo.

Conforme a la metodología de la National Lime Association se logró determinar que un contenido de cal mínimo a utilizarse para estos suelos es de un 6%. Así, los resultados obtenidos con la incorporación de la cal evidenciaron una reducción de los valores de los límites de plasticidad y un incremento en la resistencia.

El incremento en el contenido de cal está asociado también con un incremento en el valor de la resistencia a la compresión inconfínada. Particularmente, se puede notar en la figura 3 como aumenta la resistencia del suelo y esta a su vez cumple con los valores de resistencia mínimos recomendados en la tabla 1. Además, se puede notar la importancia que tiene el porcentaje de compactación, puesto que incrementos de este valor aumentan considerablemente la resistencia a la compresión del material. De esta manera, se puede notar que el uso de este tipo de materiales en estado natural presenta un desempeño entre malo a pésimo, sin embargo después de la estabilización con cal su desempeño mejora considerablemente y puede ser considerado como material de subbase y hasta material de base si se aumentara el contenido de cal y se asegurara una adecuada compactación.

Consideraciones importantes para los suelos estabilizados con cal

Cuando se realizan ensayos para el diseño de dosificaciones de un material, en el laboratorio se intentan representar las condiciones presentes en el proyecto, los resultados obtenidos bajo estas condiciones deberán ser comparados con

Tabla 2

Recomendaciones para resistencias a compresión inconfínada.

Fuente: Adaptado de National Lime Association, Technical Brief: Mixture and Testing Procedures for Lime Stabilized Soils, 2004.

Recomendaciones para resistencias a compresión inconfínada de mezclas de suelo-limoso.				
Uso previsto	Saturación por 8 días (KPa)	Ciclos congelación-descongelación ^a		
		3 ciclos (KPa)	7 ciclos (KPa)	10 ciclos (KPa)
SubBase				
Pavimento rígido / Losas	345	345	621	827
Pavimento flexible (>25 cm) ^b	414	414	689	896
Pavimento flexible (20 cm - 25 cm) ^b	483	483	689	965
Pavimento flexible (12.5 cm - 20 cm) ^b	621	621	896	1103
Base				
	896	896	1172	1379

Notas:

a - Número de ciclo congelación-descongelación esperados en la capa suelo-limoso durante el primer invierno.

b - Total de espesor del pavimento sobre la subbase.

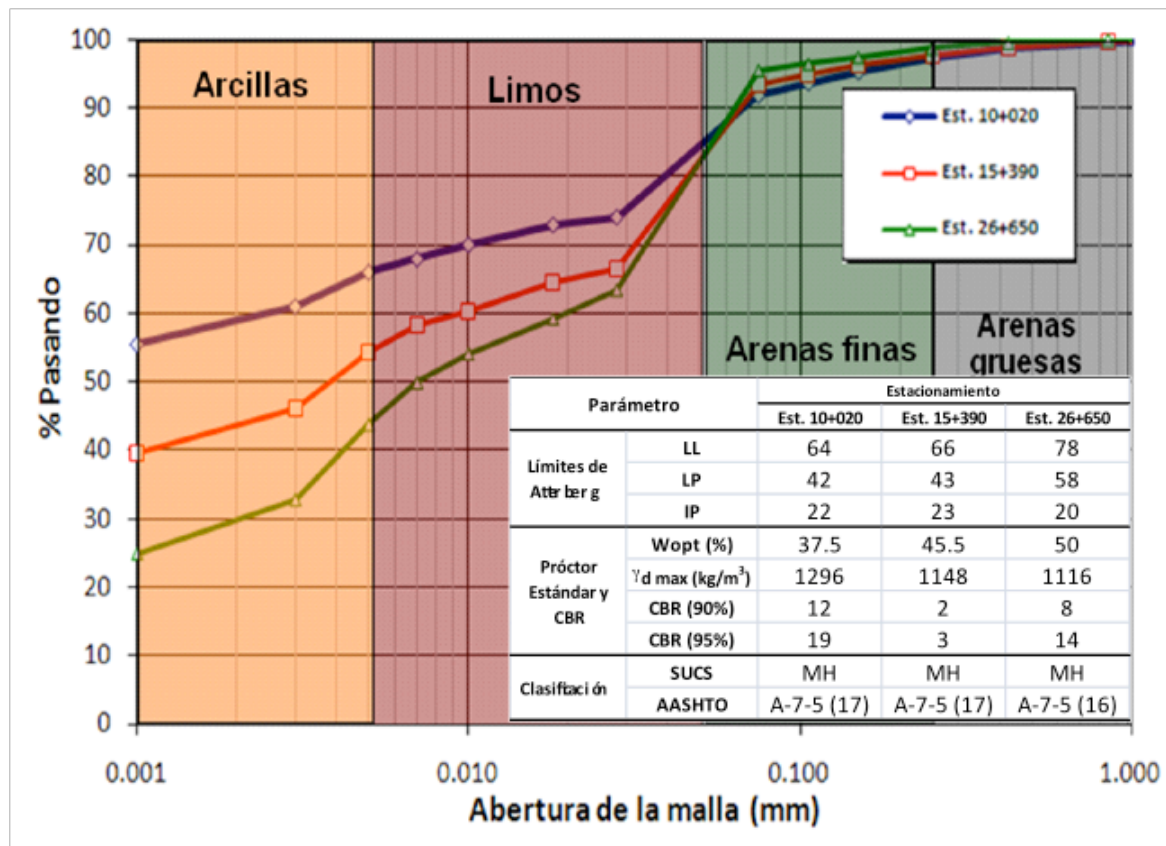


Figura 2

Caracterización de suelos estudiados.

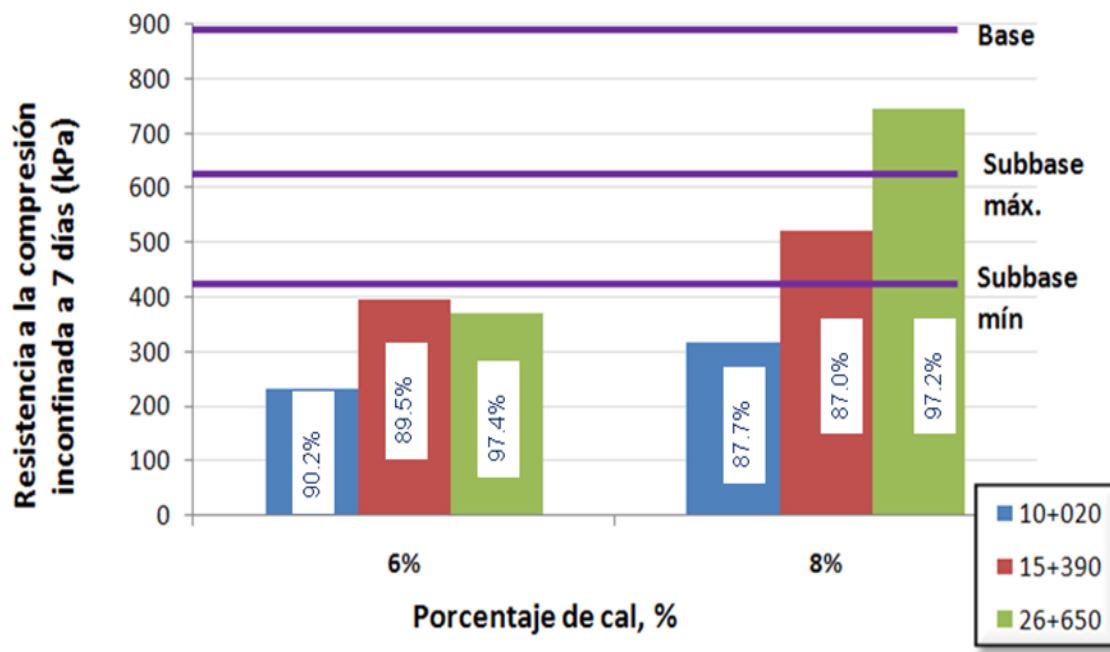


Figura 3

Variación en los valores de la resistencia a la compresión inconfínada debido a variaciones en el contenido de la cal.

las especificaciones; las cuales buscan garantizar un comportamiento adecuado de este material. En el caso de suelos estabilizados con cal la definición de especificaciones se realiza de manera empírica, es decir, mediante la comparación de resultados obtenidos en el laboratorio y el desempeño del material en campo, que a su vez dependerá de los procesos constructivos implementados.

La incorporación de la cal influye en los valores del contenido de humedad óptima y densidad seca máxima del suelo, en términos generales se dice que la

incorporación de la cal permite aumentar el contenido de humedad óptimo de compactación a la vez que se reduce la densidad máxima seca del suelo compactado.

El incremento en el contenido de cal está asociado con un incremento en la capacidad de soporte y la resistencia del suelo estabilizado. Más aún, este incremento se ve favorecido cuando se incrementa el porcentaje de compactación, lo cual está relacionado con un mejor proceso de densificación del material que favorece los efectos positivos de la adición

de la cal. En este sentido, Thompson (1969) establece que existe una fuerte correlación entre el porcentaje de compactación y el valor de la resistencia a la compresión inconfínada, e indica que un incremento en un 5% de compactación puede incrementar en más de un 60% la resistencia a la compresión inconfínada. Así, se hace evidente que es necesario aplicar un adecuado proceso de compactación en campo y en laboratorio para evidenciar realmente los beneficios de la estabilización con cal.

Bibliografía:

1. Elizondo, F.; Sibaja, D. (2008). "Guía para la estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas". Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica.
2. Elizondo, F. (2009). "Implementación de los ensayos de laboratorio para el diseño y evaluación del desempeño de materiales estabilizados con cal". Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica.
3. Elizondo, F.; Badilla G. (2010) "Implementación de la metodología de diseño para materiales tratados con cal en la construcción y evaluación del desempeño de tramos de prueba en un proyecto en construcción". Unidad de Investigación en Infraestructura Vial. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. San José, Costa Rica.
4. National Lime Association. (2004) "Manual de estabilización de suelo tratado con cal: Estabilización y modificación con cal". Boletín 326.
5. National Lime Association. (2006) "Mixture Design and Testing Procedures for Lime Stabilized Soil". Technical Brief.
6. Thompson, M. R. (1969) "Engineering Properties of Lime-Soil Mixtures". Journal of Materials - ASTM, Vol. 4.

Programa de Ingeniería de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Coordinador General:

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, MSc, Candidato a PhD,

Unidades:

Unidad de Auditoría Técnica

Coordinadora: Ing. Jenny Chaverri, MScE.

Unidad de Investigación

Coordinador: Ing. Fabián Elizondo

Unidad de Evaluación de la Red Vial

Coordinador: Ing. Roy Barrantes

Unidad de Gestión Municipal

Coordinador: Ing. Marcos Rodríguez, MSc.

Unidad de Capacitación y Transferencia Tecnológica

Coordinador: Ing. Marcos Rodríguez, MSc.

Unidad de Desarrollo de Especificaciones Técnicas

Coordinador: Ing. Jorge Arturo Castro

Unidad de Puentes

Coordinador: Ing. Rolando Castillo, PhD.

Ing. Guillermo Santana, PhD.