

EFFECTO DE LAS PROPIEDADES DE CALIDAD DE LA CAL EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUBRASANTES DE ALTA PLASTICIDAD

Ing. Fabián Elizondo Arrieta
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
fabian.elizondo@ucr.ac.cr

Ing. Alejandro Navas Carro
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica
anavas@lanamme.ucr.ac.cr

Ing. Denia Sibaja Obando
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales
Universidad de Costa Rica
dsibaja@lanamme.ucr.ac.cr

Resumen

Por las características geológicas de Costa Rica, los suelos de sub rasante presentes en nuestro país son en su mayoría suelos con altos índices de plasticidad. Estas subrasantes son utilizadas como cimienta para la estructura de pavimentos o en rutas no pavimentadas (tierra y lastre) en superficies que estarán en contacto directo con las cargas del tránsito en su estado natural o mezcladas con materiales granulares en los casos de caminos de lastre. Las características de alta plasticidad están relacionadas con baja capacidad mecánica, gran susceptibilidad a la humedad y por lo tanto el efecto en consistencia o deformación plástica ante las cargas.

Consecuentemente se plantea el uso de la cal como un estabilizador ideal para materiales finos de media o alta plasticidad, el cual no ha sido utilizado en Costa Rica para estos fines. Su uso tiene como consecuencia una serie de mejoras tales como: el aumento de propiedades mecánicas de resistencia, menor susceptibilidad a la humedad, reducción de la plasticidad y aumento de trabajabilidad, entre otros.

Por su parte la producción de cal en Costa Rica, se encuentra dentro de una industria que carece de controles de calidad estrictos, algunas veces con proceso muy artesanales, lo que ocasiona diferencias importantes entre productores y tipos de cal.

Por lo anterior se planteó el siguiente proyecto enfocado en evaluar el efecto de dos tipos de cal (primera y segunda calidad) en las propiedades de un suelo de alta plasticidad, estabilizado con cal y valorar el cumplimiento de especificaciones de acuerdo con la normativa existente.

INTRODUCCIÓN

Como antecedente a este proyecto durante el año 2008 se presenta por parte de la Unidad de Investigación en Infraestructura Vial del LanammeUCR, un proyecto de investigación enfocado en recopilar información y experiencias en el tema de la estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas, teniendo como producto la “Guía para la estabilización y mejoramiento de rutas no pavimentadas”.

En esta guía se presenta el uso de la cal como un estabilizador ideal para materiales finos de media o alta plasticidad. El uso de la cal tiene como consecuencia una serie de mejoras tales como: el aumento de propiedades mecánicas de resistencia, reducción de la plasticidad y aumento de la trabajabilidad, entre otros. Además este documento presenta un procedimiento para el diseño y evaluación del desempeño en laboratorio de materiales estabilizados con cal que requiere ser implementado y valorar su aplicabilidad en Costa Rica.

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 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, también son utilizadas en el mejoramiento de sub-rasantes 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 finos o contaminación del paquete estructural con la consecuente desmejora en su desempeño.

OBJETIVO GENERAL

Valorar el efecto de la cal disponible en Costa Rica, utilizada como aditivo estabilizador de materiales finos que presenten índices de plasticidad (IP) medios y altos, y su efecto en las propiedades mecánicas y de durabilidad del material estabilizado.

CONCEPTOS GENERALES Y ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Factores que se Deben de Considerar en la Estabilización

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.

Existen algunas consideraciones generales que permiten seleccionar a la cal como el estabilizador más apto para un suelo específico; estas son la granulometría y la plasticidad o textura 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. 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 grava arcillas, gravas “sucias” pueden formar una base de alta resistencia y calidad. En la práctica es común la utilización de pequeñas cantidades de cemento Portland junto con la cal para aumentar resistencia.

Dentro de la investigación se analizaron dos metodologías de diseño y evaluación del desempeño con el fin de valorar las ventajas y desventajas que cada una de ellas, se presenta a continuación un resumen de las metodologías utilizadas.

Metodología de Diseño: Cuerpo de Ingenieros de la Armada Norteamericana (CI)

Paso 1: Cálculo del contenido inicial de cal mediante la valoración del pH de varias muestras de suelo cal preparadas a diferentes niveles o dosificaciones (2, 4, 6, 8 %). El contenido de cal más bajo al cual se logra un pH de alrededor de 12,4 será el contenido estimado inicial de cal.

Paso 2: Utilizando el contenido inicial de cal, se deben llevar a cabo ensayos de humedad densidad para determinar la densidad máxima y el contenido de humedad óptima. El ensayo de densidad humedad deberá realizarse de acuerdo con la norma ASTM D 1557 (Próctor Modificado).

Paso 3: Preparar muestras por triplicado de la mezcla suelo cal, para los ensayos de compresión inconfínada y durabilidad. Los contenidos de cal a los cuales se deben de preparar las mezclas serán: el contenido de cal determinado en el paso 2 y al 2 % y 4 % de cal por encima de este contenido. Los especímenes preparados se deberán de curar por un periodo de 28 días a 23 °C. También se puede utilizar un curado acelerado por 48 horas a 49 °C.

Paso 4: Tres especímenes se deberán de fallar a compresión inconfínada de acuerdo con el procedimiento ASTM D1633, y otros tres especímenes deberán ser sometidos al ensayo de durabilidad (ASTM D559).

Paso 5: Se deberán de comparar los resultados obtenidos con los requerimientos solicitados de acuerdo con las especificaciones contractuales, o con las especificaciones recomendadas en la Tabla 1 y en la Tabla 2. El contenido de cal más bajo, el cual cumpla con los requerimientos para los resultados de compresión inconfínada y demuestre la durabilidad requerida será el contenido de cal de diseño.

Tabla 1. Resistencia mínima a la compresión inconfínada para suelos estabilizados

Capa de suelo estabilizada	Resistencia mínima a la compresión, psi	
	Pavimento Flexible	Pavimento Rígido
Base	750	500
Sub base, material selecto y subrasante	250	200

Resistencia mínima a la compresión determinada a los 28 días para la estabilización con cal.

Tabla 2. Requerimientos de durabilidad

Capa de suelo estabilizada	Pérdida máxima permitida luego de 12 ciclos de humedecido y secado o ciclos de congelamiento y descongelamiento, como el porcentaje de peso inicial del espécimen
Granular IP < 10	11
Granular IP > 10	8
Limos	8
Arcillas	6

Metodología de Diseño: National Lime Association (NLA)

La *National Lime Association* de los EU evaluó varios procedimientos para el diseño de mezclas estabilizadas con cal con el fin de generar uno definitivo que pudiera ser utilizado con confianza para diversos tipos de suelo y climas. A continuación se presenta un resumen del procedimiento planteado

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 suelo que alcanza un pH en laboratorio de 12,4 es el porcentaje mínimo de cal para estabilizar un suelo.

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).

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 41 °C. Someta los especímenes por 24 horas a un remojo por capilaridad.

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 en humedad. La CI es el promedio de al menos dos especímenes. Valores sugeridos para CI se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Recomendaciones para resistencias a compresión confinada

Recomendaciones para resistencias a compresión confinada de mezclas de suelo-limoso.				
Uso previsto	Saturación por 8 días (psi)	Ciclos congelación-descongelación ^a		
		3 ciclos (psi)	7 ciclos (psi)	10 ciclos (psi)
SubBase				
Pavimento rígido /Losas	50	50	90	120
Pavimento flexible (>10 in) ^b	60	60	100	130
Pavimento flexible (8 in – 10 in) ^b	70	70	100	140
Pavimento flexible (5 in – 8 in) ^b	90	90	130	160
Base				
	130	130	170	200

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.

RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla 4. Caracterización del suelo utilizado en el estudio.

Granulometría	Porcentaje de finos	85%
	Porcentaje de gravas	1%
	Porcentaje de arenas	14%
	Porcentaje de arcillas	65%
Límites de Atterberg	LL	63
	LP	38
	IP	25
Próctor Estándar y CBR	Wopt (%)	32,98
	γ_d max (kg/m ³)	1376,7
	CBR	6.6
Clasificación	SUCS	MH
	AASHTO	A-7-5

Tabla 5. Caracterización y variabilidad de la cal (Cal de primera).

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra3	Especificación
Óxido de Calcio (% m/m)	70,8 ± 0,5	56,4 ± 0,5	87,1 ± 0,2	90% mín
Óxido de Magnesio (% m/m)	0,5 ± 0,1	1,36 ± 0,2	3,8 ± 0,1	
Dióxido de carbono (% m/m)	3,0 ± 0,3	4,0 ± 0,2	5,6 ± 0,1	5% máx
Porcentaje de humedad (%)	1,6 ± 0,1	0,79 ± 0,05	-	2% máx
Malla 30 (600µm)	0,35 ± 0,07	0,15 ± 0,07	-	3% máx
Malla 200 (75µm)	12,1 ± 0,4	8,2 ± 0,4	-	25% máx
Charola	87,8 ± 0,6	91,9 ± 0,3		

Tabla 6. Caracterización y variabilidad de la cal (Cal de segunda).

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra3	Especificación
Óxido de Calcio (% m/m)	43,0 ± 0,5	44,6± 0,5	68,2 ± 0,2	90% mín
Óxido de Magnesio (% m/m)	0,6 ± 0,1	1,37± 0,5	4,6 ± 0,1	
Dióxido de carbono (% m/m)	3,6 ± 0,3	3,7± 0,2	20,6 ± 0,1	5% máx
Porcentaje de humedad (%)	0,91 ± 0,05	0,77 ± 0,07	-	2% máx
Malla 30 (600µm)	2,9 ± 2	23,1 ± 0,4	-	3% máx
Malla 200 (75µm)	24,8 ± 0,2	11,0 ± 0,6	-	25% máx
Charola	46 ± 1	66,1 ± 0,1	-	

Tabla 7. Cálculo del contenido estimado inicial de cal mediante pH.

# Beaker	% cal	Cal de primera (Muestra1)				Cal de segunda (Muestra 2)			
		Masa agua (g)	Masa cal (g)	pH	Temp (°C)	Masa agua (g)	Masa cal (g)	pH	Temp (°C)
1	1	100	0,310	10,67	24,8	100	0,310	10,53	24,2
2	2	100	0,620	12,02	24,9	100	0,620	11,63	24,3
3	3	100	0,929	12,46	25,2	100	0,929	12,07	24,1
4	4	100	1,239	12,66	24,5	100	1,239	12,38	24,2
5	5	100	1,549	12,67	24,7	100	1,549	12,59	24,1
6	6	100	1,859	12,68	24,6	100	1,859	12,75	24,1
7	7	100	2,168	12,72	24,4	100	2,168	12,72	24,3
8	8	100	2,479	12,73	24,4	100	2,479	12,75	24,2
9	9	100	2,788	12,73	24,5				
10	10	100	3,098	12,74	24,0				
11	11	100	3,407	12,74	24,3				
12	12	100	3,717	12,72	24,1				
13	13	100	4,026	12,73	24,0				

Tabla 8. Resultados de ensayos de desempeño. Cal de primera. Método de diseño del cuerpo de Ingenieros de los EU.

Porcentaje de cal	Compresión inconfínada (psi)		% Perdidas Suelo-Cal	Modulo resiliente (MPa)	
	2días 49°C	28días 25°C		Máximo	Mínimo
11%	314,34	492,13	5,56	161,02	114,02
	285,89	432,39	4,30	181,60	128,78
	476,48	419,59	-	172,08	125,69
Promedio	358,90	448,03	4,93	171,56	122,83
13%	210,50	553,29	6,83	219,36	118,63
	140,81	332,83	8,03	136,25	65,39
	163,57	537,64	-	270,20	166,11
Promedio	171,62	474,58	7,43	208,60	116,71
15%	277,36	567,51	4,94	143,27	104,09
	293,00	523,42	6,70	198,34	93,58
	399,68	547,60	-	247,11	198,81
Promedio	323,34	546,17	5,82	196,24	132,24

Tabla 9. Resultados de ensayos de desempeño. Cal de primera y segunda. Método de diseño del Lime Association.

Porcentaje de cal	Compresión inconfiada 7d 42°C(psi)		Módulo resiliente Cal de primera (MPa)		Módulo resiliente Cal de segunda (MPa)	
	Cal de primera	Cal de segunda	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
4%	29,87	-	75,71	36,34	-	-
	38,4	-	113,69	82,42	-	-
	39,83	-	72,47	39,20	-	-
Promedio	36,03	-	87,29	52,65	-	-
6%	68,27	64,0	139,50	64,78	131,6	88,40
	61,16	69,7	123,30	82,85	78,91	49,11
	68,27	52,6	72,64	46,44	-	-
Promedio	65,90	62,1	111,81	64,69	105,26	68,75
8%	109,52	113,8	80,98	47,50	111,32	74,10
	135,12	105,3	187,16	137,93	96,86	67,39
	143,66	98,1	82,28	55,05	-	-
Promedio	129,43	105,7	116,81	80,16	104,09	70,74
10%	-	142,2	-	-	113,93	69,63
	-	136,5	-	-	211,22	124,14
	-	157,9	-	-	-	-
Promedio		145,6	-	-	162,58	96,88

COMENTARIOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

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 especificaciones las cuales garanticen el 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. Con base en lo anterior podemos indicar que existe un vínculo entre el método de diseño propuesto y las especificaciones asociadas, así como con los procesos constructivos implementados.

Dentro de los objetivos de este proyecto se plantea la valoración de dos métodos de diseño cada uno con especificaciones que responden a las condiciones que intentan representar y que fueron calibradas empíricamente. Otro objetivo consiste en valorar si la cal que se produce en Costa Rica produce una estabilización que logre cumplir con los requerimientos solicitados por cada método al mismo tiempo que se analiza la variabilidad en el tiempo de sus propiedades.

El suelo utilizado en este estudio se caracteriza como un limo de alta plasticidad (IP=25) y con un CBR de 6,6 %, escogido por considerarse como un material crítico, de baja resistencia y alta susceptibilidad a la deformación.

En relación con la cal se analizaron dos tipos definidos como cal de primera y cal de segunda, las muestras utilizadas en este estudio son las muestras definidas como “*muestra 1 y 2*”, como se puede ver en las tablas 5 y 6 existe un incumplimiento de sus propiedades respecto a las especificaciones requeridas para su uso en estabilización, en el parámetro correspondiente al contenido de óxido de calcio y óxido de magnesio, estos componentes son los encargados de reaccionar con los materiales plásticos del suelo para producir un efecto “cementante” por lo que entre menores sean sus proporciones se esperarían mayores contenidos de cal para lograr la

estabilización. Otra característica de las muestras de cal analizadas es la alta variabilidad que inclusive provoca incumplimientos en otras propiedades, ambas situaciones se pueden observar en la Figura 1.

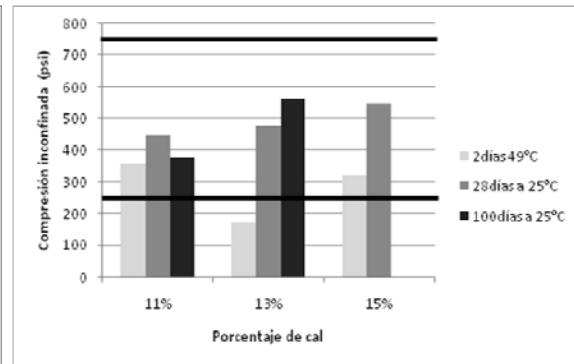
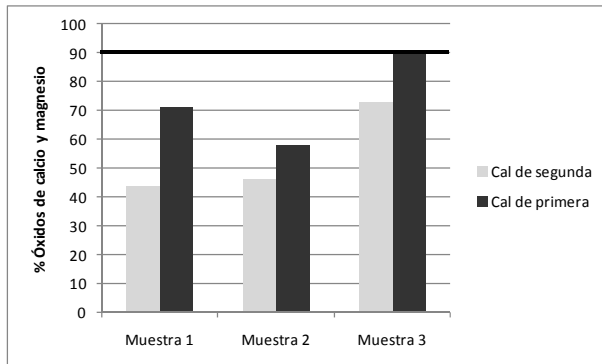


Figura 1. %Óxidos de calcio y de magnesio

Figura 2. Compresión inconfínada (CI)

Ambos métodos de diseño establecen un cálculo estimado inicial de cal mediante la medición del pH del suelo, los resultados obtenidos en el estudio definen un 4 % para la cal de primera y un 6 % para la cal de segunda (Tabla 7), definido por la estabilización del pH en cada caso. No obstante para la valoración del Método de Diseño del CI, se analizó únicamente la cal de primera, con contenidos de cal correspondientes a 11 %, 13 % y 15 %, y los dos condicionamientos propuestos por el método; 28 días a 25 °C y 48 horas a 49 °C.

El método del CI propone el cumplimiento de dos requerimientos para las subrasantes estabilizadas con cal (Tablas 1 y 2) las cuales corresponden a la compresión inconfínada y la durabilidad mediante ciclos de humedecido y secado.

De los resultados obtenidos (Tabla 8) podemos comentar lo siguiente; en cuanto al requisito de resistencia a la compresión inconfínada los especímenes curados por un periodo de 2 días a 49 °C presentan una alta variabilidad y no muestran una tendencia a aumentar su resistencia conforme se incrementa el contenido de cal (Figura 2). Los especímenes curados por un periodo de 28 días a 25 °C tienden a ser menos variables e incrementan su resistencia conforme aumenta los contenidos de cal.

Al comparar los resultados con las especificaciones propuestas en el método se puede identificar que los tres porcentajes utilizados se encuentran por encima de la resistencia a la compresión mínima (200 psi) solicitada para utilizar el material como sub base o material selecto en pavimentos flexibles, inclusive los resultados están muy por encima de este valor, con resistencias que van desde los 450 psi hasta los 550 psi lo que hace pensar que las dosificaciones pueden ser reducidas y aun así cumplirán con los requisitos de resistencia, sin embargo no llegan a ser suficiente para ser utilizada como una base. En cuanto al ensayo de durabilidad los resultados obtenidos para las tres dosificaciones se encuentran por debajo del máximo especificado para limos, correspondiente a 8 %. Los valores de Módulo resiliente o capacidad mecánica, pese a que no son requeridos por el método de diseño se presentan con el fin de evidenciar que se encuentran cercanos a los 200 MPa, los cuales corresponden a valores similares a los que se obtendría con una base granular.

Una de las limitantes más importantes del método del CI es el tiempo que toma la realización del diseño, considerando que el condicionamiento acelerado de los especímenes (48 horas a 49 °C) no logró ser representativo del curado normal de la cal (28 días a 25 °C) el tiempo total que tarda la realización del diseño corresponde a un poco más de 2 meses, tomando en cuenta que la preparación de los especímenes tarda una semana, el condicionamiento de 28 días, más el tiempo que se demora en realizar los 12 ciclos del ensayo de durabilidad correspondientes a 28 días, hacen del método poco práctico para utilizarse en el campo. Es por esta situación que se planteó el diseño mediante el método de la NLA, este método tiene la ventaja que elimina el ensayo de durabilidad y lo sustituye por variaciones en las especificaciones de compresión inconfínada de acuerdo con las condiciones climáticas al que el suelo estabilizado estará sometido (Tabla 3), además modifica el proceso de condicionamiento (7 días a 42 °C) el cual requiere que los especímenes se introduzcan en bolsas selladas que permitan mantener la humedad dentro del especímenes, factor clave para lograr la optimización de la reacción con la cal. Una condición a tomar en cuenta es que los especímenes deben de ser compactados mediante próctor estándar y no modificado como se especifica en el método del CI.

Bajo el esquema anterior se realizaron los ensayos para los dos tipos de cal, las dosificaciones utilizadas fueron las estimadas mediante el método del pH más 2 y más 4 % en cada caso, además como parte del estudio de investigación se evaluó el ensayo de durabilidad y módulo resiliente sin embargo para el primero los especímenes no resistieron los ciclos de humedecido y secado, no obstante se debe recordar que este ensayo no forma parte de este procedimiento de diseño y no debería relacionarse con un deficiente desempeño del material ya que como se mencionó anteriormente existe una correlación entre los métodos de diseño y calibraciones que se han hecho con desempeños en campo, por lo que al existir diferencias en el método de compactación en laboratorio no podría especificarse un requisito para estas condiciones a menos que exista una validación.

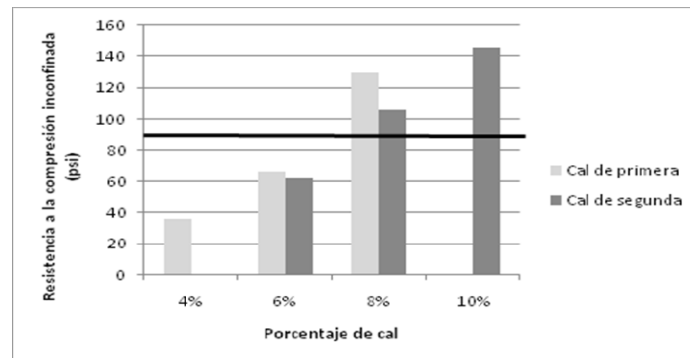


Figura 3. Compresión inconfínada (NLA)

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 9 y en la figura 3 se sintetizan las tendencias. Podemos indicar que existe un mayor efecto o mejoría en resistencias alcanzadas con la cal de primera respecto a la cal de segunda, además de acuerdo con los resultados obtenidos y siendo la resistencia inconfínada el único parámetro especificado para valorar el cumplimiento o no de una subrasante estabilizada por este método (Tabla 3), podemos indicar que ante las condiciones presentes en Costa Rica en donde no existirían ciclos de congelamiento y descongelamiento de esta capa, se requerirían dosificaciones de 6 % para estabilizar un material que vaya a ser utilizado como sub base, en pavimentos con estructuras robustas de más de 25 cm sobre la capa

estabilizada, y en caso de estructuras con espesores a los 12 centímetros requeriríamos dosificaciones cercanas al 8 %. Por último si el material estabilizado fuera a utilizarse como una base la dosificación que se debe de emplear deberá ser cercana al 10%.

Como resumen de esta investigación se rescatan las siguientes conclusiones:

- El material de subrasante presentó una mejoría significativa en sus propiedades mecánicas y de durabilidad al ser estabilizado con cal.
- La cal evaluada en el estudio presenta una alta variabilidad en sus propiedades e incumplimientos respecto a los requisitos requeridos internacionalmente, se propone un estudio que busque cuantificar el efecto de esta variabilidad en las propiedades mecánicas del material estabilizado así como analizar otras fuentes de cal para valorar si se repite esta condición.
- El método de la NLA se propone como un método más factible para ser propuesto como método de diseño debido a la reducción en el tiempo requerido para el diseño y su correspondencia con los resultados del método del CI.
- De los resultados obtenidos para ambos métodos de compactación (próctor estándar y modificado) se hace evidente un adecuado proceso de compactación en campo que optimice los beneficios de la estabilización con cal.
- Con dosificaciones iguales o mayores al 6 % se pueden lograr materiales que de acuerdo con los procedimientos de diseño y especificación permiten transformar un material de alta plasticidad y muy susceptible a deformarse en un material con propiedades que permita ser utilizado como sub base e inclusive como base.
- Se recomienda ampliar esta investigación a otros tipos de materiales que presenten condiciones aptas para ser estabilizado con cal, además se hace necesario la construcción de tramos de prueba que permitan valor en campo el desempeño real de material.

REFERENCIAS

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.

Department of The Army, The Navy, and the Air Force (1994). Soil Stabilization for pavements. Washington D.C, United States.

National Lime Association, (2004). Manual de estabilización de suelos tratados con cal, United States.

Federal Highway Administration, (1993). *Soil and Base Stabilization and Associated Drainage Consideration*. Washington D.C, United States.